

Université du Québec

Mémoire présenté à
L'Université du Québec à Trois-Rivières

Comme exigence partielle
de la Maîtrise en Sciences de l'environnement

Par

Olivier Mathieu

Impact potentiel de la prédation des cormorans à aigrettes (*Phalacrocorax auritus*) d'une
colonie en expansion sur les communautés aquatiques de lacs oligotrophes du bouclier
canadien

Mai 2005

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RÉSUMÉ

La population nord-américaine de cormoran à aigrettes (*Phalacrocorax auritus*) connaît depuis plus de 30 ans une croissance démographique soutenue qui a amené l'espèce à étendre son aire de répartition et coloniser des habitats d'où elle était historiquement absente. La pression de prédation exercée par cette espèce coloniale piscivore inquiète généralement les pêcheurs aux endroits où la ressource est partagée entre ces deux utilisateurs et le cormoran à aigrettes traîne aujourd'hui sa réputation sur les lacs oligotrophes du bouclier canadien. Les objectifs de cette étude visaient la description du régime alimentaire du cormoran dans un milieu nouvellement colonisé, la Haute-Mauricie, ainsi que l'évaluation de la pression de prédation exercée par le cormoran sur les stocks d'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), l'une des espèces principalement recherchées par les pêcheurs sportifs de la région. La caractérisation du régime alimentaire des cormorans s'est effectuée par la récolte et l'analyse des boulettes régurgitées par les adultes et des boli régurgités par les oisillons. Les résultats ont mis en lumière la présence de quatre espèces de poisson, meuniers (*Catostomus* sp.), ouitouche (*Semotilus corporalis*), perchaude (*Perca flavescens*) et omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), dans le régime alimentaire des cormorans tout en suggérant que la quantité d'omble de fontaine consommée par les oiseaux, comparable au prélèvement local effectué par les pêcheurs sportifs, pourrait mener à la surexploitation des stocks d'omble de fontaine. Certains paramètres tels la taille du territoire d'alimentation utilisé par les cormorans de l'île Steamboat ainsi que la répartition de la pression de prédation sur les lacs restent toutefois à élucider afin de mieux connaître la dynamique de prédation et l'impact de celle-ci sur les communautés aquatiques.

AVANT-PROPOS

Conformément à l'article D45 du règlement des études de cycles supérieurs, il est possible de présenter les résultats des travaux de recherche obtenus dans le cadre du programme de 2^e cycle en Sciences de l'environnement sous forme d'articles scientifiques plutôt que sous forme de mémoire traditionnel.

Dans cette optique, le présent mémoire est principalement constitué d'un article scientifique soumis et accepté pour publication dans le *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* (ANNEXE 1). L'article, présenté ici sous sa forme originale en langue anglaise, est précédé par un résumé en langue française de la problématique, des matériels et des méthodes utilisés, des résultats obtenus ainsi que des différentes conclusions inhérentes à ce projet de recherche. Les tableaux et les figures cités dans le premier chapitre étant partie intégrante de l'article scientifique présenté au chapitre deux, le lecteur est invité à s'y référer.

REMERCIEMENTS

Depuis mon arrivée à l'Université du Québec à Trois-Rivières en 1999, il m'a été donné d'y faire des rencontres inoubliables, certaines ayant mené à des collaborations qui aujourd'hui encore ont une importante influence sur moi, sur ma vie. Ma rencontre avec M. Gilbert Cabana s'est d'abord faite dans une relation maître-élève, avant de se transformer en relation employeur-employé et nous mener vers une relation d'amitié qui aujourd'hui s'élabore autour de notre collaboration scientifique. Ironie du sort ou hasard, je ne peux expliquer ma participation à un tel projet de recherche, un projet qui me colle à la peau et qui m'offre l'opportunité d'explorer des avenues que je désirais emprunter. Une chose est toutefois certaine, le docteur Cabana y est pour beaucoup et je l'en remercie sincèrement.

Mes travaux de maîtrise se sont également déroulés sous la direction de M. Charles Maisonneuve, biologiste au ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. M. Maisonneuve a contribué immensément au bon déroulement de mon projet par son expertise, sa disponibilité, son engagement et sa rigueur. Je lui dois particulièrement l'opportunité d'avoir pu présenter mes travaux de recherche devant un auditoire anglophone dans le cadre du *Symposium sur la gestion et la biologie du cormoran à aigrettes* tenu à Québec en août 2004, symposium dont il était l'instigateur.

Je tiens aussi à rendre hommage à mon ami Sébastien Bouliane qui, dans un climat de convivialité rarement expérimenté dans le cadre de travaux sur le terrain, m'a grandement aidé à la récolte et l'analyse des données nécessaires à ce projet de recherche. Par ses compétences et son enthousiasme, Sébastien s'est avéré être l'assistant de recherche idéal.

Un nombre important d'individus ont également contribué de près ou de loin à l'aboutissement de mes travaux de recherche. De près, M. Raymond McNicoll, M. Laurier Breton et M. Charles Vallée ont participé aux travaux sur le terrain; M. Michel Lemieux a fourni des données inédites utiles au projet; M. Jean-Claude Bourgeois et M. Pierre Magnan ont siégé sur le comité d'évaluation de mes travaux. M. Magnan nous a également donné accès à son laboratoire afin d'y mener certaines analyses.

De loin, les membres du laboratoire de recherche sur les écosystèmes, particulièrement M. François Darchambeault, et autres collègues de l'université ont contribué au sain climat y régnant et qui, sans qu'on y porte une attention soutenue, améliore énormément la façon dont le travail y est abordé et exécuté. Aussi, je tiens à souligner l'influence des membres et amis du groupe de musique Echotron, nommément Yann Boissonneault, Danny Létourneau, Sébastien Dulude et Charles Vallée, avec qui je fais de la musique depuis presque quatre ans. Leur contribution à mes travaux est abstraite; ils ont plutôt joué le premier rôle dans cette quête d'équilibre entre travail, sociabilité et créativité qui m'est si chère.

En terminant, malgré l'anonymat de ces institutions, la participation financière du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et du Fonds Québécois de la Recherche sur la Nature et les Technologies a été nécessaire et appréciée, sans quoi le projet de recherche qui m'a habité pendant les deux dernières années n'aurait jamais pu se concrétiser.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	II
AVANT-PROPOS	III
REMERCIEMENTS.....	IV
TABLE DES MATIÈRES	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
LISTE DES FIGURES	X
CHAPITRE I : RÉSUMÉ SUBSTANTIEL DU PROJET	2
Introduction.....	2
Matériel et méthodes.....	4
Aire d'étude.....	4
Méthodes d'échantillonnage	5
Analyses statistiques	8
Évaluation de la pression de prédation sur l'omble de fontaine	9
Résultats	11
Adultes vs oisillons	11
Variation temporelle.....	12
Taille des proies	13
Pression de prédation sur les populations d'omble de fontaine	14
Discussion	14
Adultes vs oisillons	15
Variation temporelle.....	17

Taille des proies	17
Pression de prédation sur les populations d'omble de fontaine	18
Impact indirect possible sur les populations d'omble de fontaine	21
Bibliographie.....	24
CHAPITRE II : MANUSCRIT.....	31
Résumé.....	32
Abstract.....	34
Keywords	34
Introduction.....	35
Methods.....	37
Study area.....	37
Sampling methods	38
Statistical analysis	40
Estimation of predation pressure on brook char.....	41
Results.....	43
Adults vs. chicks	44
Temporal variation	44
Prey size	45
Predation on brook char	46
Discussion	46
Adults vs. chicks	47
Temporal variation in diet.....	48
Prey size	49

Predation on brook char	50
Positive indirect effect of cormorant on char?	52
Acknowledgments.....	54
References.....	55
Figure caption	65
ANNEXE 1	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Paramètres des équations de régression spécifiques reliant la longueur totale

(Lt) ($\text{Log}_{10} \text{ Lt (mm)} = a \text{ Log}_{10} X + b$) ou la masse (M) ($\text{Log}_{10} M \text{ (mm)} = c$

$\text{Log}_{10} X + d$) à la longueur de la structure osseuse ou la hauteur du pédoncule

caudal (X, en mm) des meuniers, outouche, perchaude et omble de fontaine.

Les structures utilisées sont l'otolithe (Ot), le cleithrum (C), l'opercule (Op),

l'arc pharyngien (Ph) et le pédoncule caudal (Pe).....63

Tableau 2. Pourcentage d'abondance relative et pourcentage d'occurrence des proies

trouvées dans les boulettes (régime alimentaire des adultes, $n = 126$) et les

boli (régime alimentaire des oisillons, $n = 273$) régurgités par les cormorans à

aigrettes de l'île Steamboat en 2003.....64

LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Localisation du site d'étude et territoire couvert dans un rayon de 20 km de la colonie de l'île Steamboat.....67
- Figure 2. Composition du régime alimentaire des cormorans établie par l'analyse des boulettes (régime alimentaire des adultes, $n = 126$) et des boli (régime alimentaire des oisillons, $n = 273$) récoltés sur l'île Steamboat en 2003. Les résultats sont présentés en (a) pourcentage d'abondance relative et en (b) pourcentage d'occurrence des meuniers (bandes noirs), ouitouche (bandes blanches), perchaude (bandes grises) et omble de fontaine (bandes hachurées).....68
- Figure 3. Variation saisonnière de la proportion des quatre proies principales constituant le régime alimentaire des cormorans établi par l'analyse (a, b) des boulettes (régime alimentaire des adultes, $n = 126$) et (c, d) des boli (régime alimentaire des oisillons, $n = 273$) récoltés sur l'île Steamboat en 2003. Les résultats sont présentés en pourcentage d'abondance relative (a, c) et en pourcentage d'occurrence des proies (b, d). La légende des espèces est identique à celle de la figure 2.....69
- Figure 4. Distribution de la longueur (mm) des quatre proies principales constituant le régime alimentaire des cormorans établi par l'analyse des boulettes et des boli récoltés sur l'île Steamboat.....70

Figure 5. Distribution de la longueur (mm) des quatre proies principales constituant le régime alimentaire des cormorans en fonction de la période d'échantillonnage.

Les résultats sont présentés pour les proies (a) des boulettes récoltées aux périodes 1 ($n = 41$), 2 ($n = 52$) et 3 ($n = 33$) et celles (b) des boli récoltés aux périodes 2 ($n = 206$) et 3 ($n = 67$).....71

Figure 6. Distribution de la longueur totale estimée des ombles de fontaine ($n = 21$) consommés par les oisillons. Les données proviennent de l'analyse des boli régurgités à l'île Steamboat en 2003.72

Figure 7. Estimation de la pression de prédation exercée sur les communautés d'omble de fontaine dans la région du lac Wayagamac en fonction des différents scénarios impliquant la variation des paramètres associés à la taille du domaine vital et à la consommation journalière. Les trois lignes correspondent à une consommation journalière de 0,300, 0,400 et 0,500 $\text{kg} \cdot \text{oiseau}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$. La ligne horizontale correspond au prélèvement d'omble de fontaine médian par la pêche sportive.....73

Figure 8. Distribution de la moyenne annuelle du prélèvement d'omble de fontaine dans la région du lac Wayagamac (1979-2002)74

**Le vrai bonheur coûte peu; s'il est cher,
il n'est pas d'une bonne espèce.**

François-René de Chateaubriand

CHAPITRE I : RÉSUMÉ SUBSTANTIEL DU PROJET

Introduction

À l'instar de la population européenne de grand cormoran (*Phalacrocorax carbo*), la population nord-américaine de cormoran à aigrettes (*Phalacrocorax auritus*) connaît depuis près de trente ans une croissance soutenue qui suscite un grand intérêt (Hatch 1995; Hughes *et al.* 2000). Cet intérêt est marqué par le fait que la population se trouvait en bien mauvais état dans les années 1960, époque où la contamination par les pesticides entravait la reproduction de l'espèce. La reprise est vraisemblablement due à la combinaison de plusieurs facteurs. On compte parmi ceux-ci la diminution de la contamination environnementale, l'augmentation des stocks de poissons proies et l'arrêt de la persécution par les humains suite à l'inscription de l'espèce sur la liste des espèces protégées (Chapdelaine et Bédard 1995; Weseloh *et al.* 1995).

La croissance démographique du cormoran à aigrettes et l'extension subséquente de son aire de nidification est aujourd'hui accompagnée de l'augmentation du nombre de situations conflictuelles opposant les cormorans aux humains. Les pêcheurs commerciaux et sportifs demeurent particulièrement inquiets face à la compétition pour les mêmes ressources piscicoles issue de la pression de prédation croissante exercée par le cormoran à aigrettes. Conséquemment, plusieurs études visant à évaluer tant l'ampleur de ces situations conflictuelles que leurs répercussions sur les pêcheries ont été initiées (Belyea *et al.* 1999; Hoyle *et al.* 1999; VanDe Valk 2002). D'un point de vue plus global, l'augmentation du nombre de prédateurs qui, comme le cormoran à aigrettes, sont situés au sommet de la chaîne alimentaire, aurait en outre le potentiel d'altérer les processus liés

au fonctionnement des écosystèmes et ainsi modifier la structure des communautés aquatiques par des effets de cascade trophique (Carpenter *et al.* 1985; Rudstam *et al.* 2004).

Les effets potentiels associés à la présence de cormorans, notamment leur impact sur les communautés de poissons, sur la végétation et sur les autres oiseaux coloniaux, surgissent de nos jours hors de leur habitat traditionnel. En effet, certains habitats autrefois exempts de la présence de cormorans à aigrettes nicheurs supportent aujourd'hui des colonies comportant des milliers d'oiseaux (Wires *et al.* 2001). On trouve également des colonies sur plusieurs plans d'eau douce situés dans les terres, loin du couloir formé par les Grands Lacs et le fleuve Saint-Laurent, où se concentre la majorité de l'effectif canadien de l'espèce (Alvo *et al.* 2002). Au Québec, où les cormorans étaient par le passé associés exclusivement au milieu marin de l'Estuaire et du Golfe du Saint-Laurent (Desgranges *et al.* 1984), des colonies se sont établies au lac Saint-Pierre, dans le couloir fluvial et dans les terres, sur le bouclier canadien, vers la fin des années 1980 (Alvo 1995). Les années 1990 leur ont été profitables puisque le nombre de cormorans y a augmenté considérablement et de nouvelles colonies se sont installées en périphérie des colonies initiales trouvées au lac Saint-Pierre et en Abitibi (van de Walle 1997). Durant cette même période, une colonie s'est établie en Haute-Mauricie avant d'y voir le nombre d'individus nicheurs augmenter rapidement, passant de quatre individus en 1988 à 110 en 2001. Un phénomène semblable, la colonisation d'habitats d'eau douce situés dans les terres suivie de la croissance de la population reproductrice, a été documenté dans plusieurs pays d'Europe chez les populations de grand cormoran (Lindell 1997; Sellers *et al.* 1997; Hughes *et al.* 2000).

Nombreux sont les lacs du bouclier canadien à compter des populations d'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) et la pêche sportive découlant de la présence de cette espèce représente une activité économique importante dans plusieurs régions. À cet effet, la présence d'une colonie de cormorans en expansion sur le Grand lac Wayagamac, en Haute-Mauricie, soulève un certain nombre de questions relatives à l'impact de la prédation du cormoran sur ces populations d'omble de fontaine. Les salmonidés, les truites notamment, représentent des proies d'importance pour les oiseaux piscivores s'alimentant dans les lacs et les rivières où ils sontensemencés (Lovvorn *et al.* 1999; Modde *et al.* 1996; Ottenbacher *et al.* 1994) et où des agrégations naturelles se créent, pendant la migration des saumons, par exemple (Collis *et al.* 2002). La prédation du cormoran à aigrettes sur des populations naturelles d'omble de fontaine n'a toutefois jamais été documentée sur le bouclier canadien, une région physiographique qui soutient la presque totalité des populations d'omble de fontaine en Amérique du Nord.

Les objectifs de cette étude étaient de (1) comparer le régime alimentaire des adultes à celui des jeunes cormorans par l'analyse du matériel régurgité sur l'Île Steamboat, (2) examiner la variabilité temporelle du régime alimentaire lors de la saison de reproduction 2003 et (3) estimer la pression de prédation exercée par le cormoran sur les populations d'omble de fontaine de la région.

Matériel et méthodes

Aire d'étude

L'étude a été menée sur l'Île Steamboat (superficie ≈ 2 ha), située sur le Grand lac Wayagamac près de La Tuque, Québec (47°21'N, 72°39'O) (Fig. 1). L'île, avant l'arrivée

du cormoran vers la fin des années 1980, abritait déjà certaines espèces d'oiseaux aquatiques telles le grand héron (*Ardea herodias*), le bihoreau à couronne noire (*Nycticorax nycticorax*) et le goéland argenté (*Larus argentatus*). La population de cormorans nicheurs s'y est depuis accrue pour atteindre 95 couples en 2003 pendant que la population de grand héron voyait son effectif passer de 85 couples nicheurs à 48 durant le même laps de temps. Le lac Wayagamac, un grand lac oligotrophe d'une superficie de 2383 ha, possède une profondeur moyenne de 40 mètres. On y exploite à des fins récréatives les populations indigènes d'omble de fontaine et d'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*), une pratique ayant des retombées économiques importantes pour la région de la Haute-Mauricie. Dans le lac Wayagamac, ces deux espèces vivent en sympatrie avec les meuniers noirs et rouges (*Catostomus commersoni* et *C. catostomus*) ainsi qu'avec la ouitouche (*Semotilus corporalis*). Les lacs situés dans un rayon de 25 km de la colonie supportent quant à eux deux types de communautés : 1) omble de fontaine en allopatrie ou en sympatrie avec des catostomidés et des cyprinidés, et 2) perchaude (*Perca flavescens*) en sympatrie avec le grand brochet (*Esox lucius*), le doré jaune (*Lucioperca vitreum*), des catostomidés et des cyprinidés (Michel Lemieux, comm. pers.).

Méthodes d'échantillonnage

Le régime alimentaire des cormorans a été caractérisé par l'analyse des structures osseuses et des restes de poissons récupérés dans 126 boulettes de régurgitation et 273 boli de régurgitation récoltés à la colonie de l'île Steamboat. Les boulettes de régurgitation, constituées des parties indigestibles des proies ingérées la veille de

l'expulsion et récoltées pendant la période de nidification, témoignent du régime alimentaire des adultes puisque les oisillons n'en produisent pas avant l'envol. À l'inverse, les boli régurgités sur la colonie, qui sont en fait des restes de poisson récemment ingérés et régurgités sous l'effet du stress occasionné par le dérangement à la colonie, sont plus fréquemment associés au régime alimentaire des oisillons (Neuman *et al.* 1997; Rail et Chapdelaine 1998; Wires *et al.* 2001). Nous avons visité la colonie en trois occasions hebdomadaires entre les 20 mai et 20 août 2003. Après avoir éliminé les débris ligneux jonchant le sol sous les arbres de la colonie, nous y avons installé des toiles de plastique afin de faciliter la récolte du matériel régurgité par les cormorans. Cette initiative a permis la réduction du temps d'échantillonnage et, conséquemment, du dérangement engendré par la présence humaine à la colonie. Les échantillons ont tous été individuellement ensachés et congelés rapidement après la récolte. La saison d'échantillonnage a été divisée en trois périodes à des fins de comparaison temporelle de la composition du régime alimentaire des cormorans : ponte et incubation (période 1, 20 mai au 22 juin 2003), éclosion et début de l'élevage (période 2, 23 juin au 29 juillet 2003), et fin de l'élevage jusqu'à l'envol des oisillons (période 3, 30 juillet au 20 août 2003).

Nous avons prélevé les structures osseuses trouvées dans les boulettes de régurgitation dans le but d'identifier les proies consommées par les cormorans. Le nombre de poissons retrouvés dans une boulette a été déterminé par le dénombrement des otolithes appariés. Les otolithes non appariés ont également chacun été attribués à des poissons individuels. Les autres structures osseuses trouvées dans les boulettes, tels les cleithrum, arcs pharyngiens et opercules, appariées ou non, ont été attribuées à des proies

individuelles lorsque aucune autre proie de l'espèce en présence n'avait été précédemment identifiée par l'examen des otolithes. L'identification des proies s'est effectuée par comparaison des structures osseuses trouvées dans les échantillons avec les structures osseuses de poissons provenant des lacs et des rivières situés dans un rayon de 15 km de la colonie. Les proies régurgitées constituant les boli étaient généralement trouvées en bon état, identifiables visuellement sur la base des caractères distinctifs externes. Nous avons tout de même prélevé les structures osseuses de ces proies afin de permettre l'identification des spécimens en état de digestion avancée ainsi que l'estimation de la taille et du poids original des proies consommées. Les espèces du genre *Catostomus* (*C. commersoni* et *C. catostomus*) ont été regroupées sous le nom commun meuniers tandis que les autres espèces étaient, de façon générale, identifiées à l'espèce. Les fragments d'écrevisses et de gastéropodes trouvés dans les boulettes ont été exclus des analyses puisque leur présence dans ces échantillons est probablement le résultat de leur consommation par les proies benthophages consommées par les cormorans à aigrettes (Johnson *et al.* 1997).

La taille et le poids original des proies consommées par les cormorans ont été estimés à l'aide d'équations de régression spécifiques reliant la longueur totale ou le poids à la longueur de la structure osseuse ou la hauteur du pédoncule caudal des meuniers, ouitouche, perchaude et omble de fontaine. Les poissons ayant servi à l'établissement de ces relations allométriques ont été pêchés au filet maillant expérimental dans le Grand lac Wayagamac, à l'exception des perchaudes, pêchées au Lac-à-Beauce (Fig. 1). Dans l'éventualité où plus d'une structure osseuse était disponible pour l'identification d'un seul individu, la longueur et le poids de cette proie étaient alors

estimés à l'aide de l'équation de régression présentant le coefficient de détermination (r^2) le plus élevé (Tableau 1). L'image de chacun des otolithes a été numérisée et mesurée à l'aide du logiciel SigmaScan Pro 4.01 (SPSS Inc., Chicago, Illinois) tandis que les autres structures ont été mesurées à l'aide d'un vernier. La longueur moyenne des structures osseuses appariées a été utilisée dans les analyses subséquentes. La longueur des proies plus ou moins intactes trouvées dans les boli a été mesurée directement ou estimée par la hauteur du pédoncule caudal.

Analyses statistiques

Les données relatives à la description du régime alimentaire des cormorans sont présentées sous forme de pourcentages d'abondance relative et d'occurrence des proies. Nous avons comparé la distribution de fréquence des proies provenant des boulettes de régurgitation à celle obtenue par l'analyse des boli à l'aide du test de G (Zar 1999) afin de mettre en lumière les différences ou similarités observées dans la composition du régime alimentaire des adultes et des jeunes cormorans. Seules les quatre proies principalement retrouvées dans le régime du cormoran (meuniers, ouitouche, perchaude et omble de fontaine) ont été utilisées dans ces analyses puisqu'elles présentaient des fréquences d'observation assez élevées pour respecter les conditions d'application du test de G . La variabilité temporelle du régime alimentaire des cormorans au cours de la saison de reproduction 2003 a aussi été examinée à l'aide du test de G : le contenu des boulettes récoltées pendant les trois périodes d'échantillonnage a été comparé alors que pour les boli, le contenu des deux dernières périodes a été comparé. Nous avons utilisé une analyse de variance (ANOVA) à un critère de classification afin de comparer 1) la

longueur moyenne estimée des proies trouvées dans les boulettes à celle des proies trouvées dans les boli, 2) la longueur moyenne estimée des quatre proies principales constituant le régime alimentaire des cormorans et, 3) la longueur moyenne estimée des proies entre chacune des périodes d'échantillonnage. Les analyses statistiques ont toutes été menées avec le logiciel SYSTAT version 9.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois).

Évaluation de la pression de prédation sur l'omble de fontaine

Nous avons calculé la proportion d'omble de fontaine, en biomasse (B = biomasse d'omble • biomasse totale⁻¹), consommée par les jeunes cormorans, la prédation d'omble de fontaine par les cormorans adultes étant négligeable (voir plus bas). Ainsi, ce résultat a été utilisé dans l'évaluation de la pression de prédation exercée par le cormoran sur les lacs et les rivières à proximité du lac Wayagamac. La pression de prédation (P) sur l'omble de fontaine a été estimée à l'aide de l'équation proposée par Modde *et al.* (1996) :

$$(1) \quad P = (B \cdot C \cdot N) / A$$

où la proportion d'omble de fontaine dans le régime alimentaire, en biomasse (B), est multipliée par la valeur moyenne de consommation journalière des oisillons durant leur développement (C) et par le nombre total d'oiseaux-jours (N) associés à la présence de jeunes cormorans au lac Wayagamac afin d'obtenir la valeur de consommation totale d'omble de fontaine par ce groupe d'oiseaux en 2003. N a été estimé à 13844 oiseaux-jours en multipliant le nombre moyen d'oisillons par nid en 2003 (2,47 oisillons par nid),

établi sur une placette, par le nombre total de nids actifs (95 nids) ainsi que par la durée de la période d'élevage, estimée à 59 jours (périodes 2 et 3). La valeur moyenne de consommation journalière des oisillons (C) utilisée dans l'équation 1 a été estimée à $0,327 \text{ kg} \cdot \text{jour}^{-1}$ par Fowle (1997). Cette estimation tient compte de la relation croissante existant entre le poids des oisillons, mesuré périodiquement pendant leur croissance, et leur demande énergétique journalière (Madenjian et Gabrey 1995). La valeur obtenue pour la consommation totale d'omble de fontaine par les oisillons ($B \cdot C \cdot N$) a par la suite été divisée par la superficie totale des lacs et rivières soutenant des populations d'omble de fontaine (A) afin d'obtenir une estimation de la pression de prédation (P) exercée sur les populations d'omble de fontaine de la région. La distance parcourue lors des vols d'alimentation (r) ainsi que la valeur moyenne de consommation journalière (C) demeurent toutefois inconnues chez les cormorans de l'île Steamboat puisque ces deux paramètres n'ont pas été évalués dans cette étude. L'estimation de la pression de prédation s'est donc faite en fonction d'une gamme de valeurs de rayon (r) et de consommation journalière (C) publiées (Hobson *et al.* 1989; Edwards et Stewart 2002; Anderson *et al.* 2004) puisque cette estimation est appelée à varier en fonction de ces paramètres, et en assumant que la pression de prédation était répartie uniformément sur les lacs et les rivières de la région. Nous avons par la suite comparé la pression de prédation exercée par le cormoran au prélèvement d'omble de fontaine effectué par les pêcheurs sportifs de la région (ministère des Ressources naturelles et de la Faune, données inédites).

Résultats

Nous avons identifié 1397 proies appartenant à huit groupes taxonomiques. Les proies non identifiées représentaient respectivement 9,0 % et 6,6 % du nombre total de proies trouvées dans les boulettes et les boli. Le degré d'érosion élevé des otolithes trouvés dans les boulettes constituait la principale raison ayant mené à l'impossibilité d'identification des proies. Quatre taxons, meuniers, ouitouche, perchaude et omble de fontaine, constituaient respectivement 98,6 % et 95,5 % des proies identifiées dans les boulettes et les boli (Tableau 2). En omettant la rare présence de grenouilles et de barbottes (*Ameiurus sp.*), les mêmes six groupes taxonomiques ont été identifiés dans les boulettes et les boli régurgités sur l'Île Steamboat. L'une des proies les plus abondantes dans le régime alimentaire des cormorans, la perchaude, est absente des eaux du lac Wayagamac. Le lac le plus près de la colonie supportant une population de perchaude se situe à 8,5 km.

Adultes vs oisillons

Le régime alimentaire des cormorans adultes, lorsque comparé à celui des oisillons, affichait une différence significative quant au pourcentage d'abondance relative ($G = 14,51$; degrés de liberté = 3; $p < 0,005$) et au pourcentage d'occurrence ($G = 70,28$; d.d.l. = 3; $p < 0,001$) des principales proies consommées au cours de la saison de reproduction (Fig. 2a, b). Les proies présentant les pourcentages d'abondance (Fig. 2a) et d'occurrence (Fig. 2b) les plus élevés dans le régime alimentaire des adultes étaient les meuniers et la ouitouche alors que les oisillons étaient principalement nourris de ouitouche et d'omble de fontaine par les parents. L'omble de fontaine ne représentait que

1,2 % du nombre de proies identifiées dans le régime alimentaire des adultes alors qu'il représentait 23,0 % du nombre de proies données aux oisillons par les adultes (Fig. 2a). Cette espèce était présente dans près du tiers des boli régurgités, comme en témoigne le pourcentage d'occurrence élevé de l'espèce dans le régime alimentaire des jeunes cormorans (Fig. 2b). Cette proportion élevée représente, en biomasse, 26,2 % des proies consommées.

Variation temporelle

La proportion que prend chacune des quatre proies d'importance dans le régime alimentaire des cormorans, exprimée en pourcentage d'abondance, affichait une hétérogénéité temporelle chez les adultes ($G = 25,06$; d.d.l. = 6; $p < 0,05$) et chez les oisillons ($G = 14,51$; d.d.l. = 3; $p < 0,005$) lorsque les différentes périodes d'alimentation étaient comparées entre elles (Fig. 3a, c). Le régime alimentaire des adultes apparaissait toutefois homogène lorsque la proportion des proies est présentée en pourcentage d'occurrence ($G = 5,97$; d.d.l. = 6; $p > 0,05$) et ce, en dépit de l'absence d'omble de fontaine à la période 3 (Fig. 3b). Les meuniers constituaient la proie la plus abondante dans le régime alimentaire des adultes et y étaient représentés en proportion constante pendant toute la saison de reproduction (36,0 % -38,8 %) (Fig. 3a). La variabilité décelée entre la proportion de chacune des autres proies aurait donc influencé les résultats du test de G mené avec les pourcentages d'abondance. L'abondance de la ouitouche augmente en effet de 10 % entre les périodes 2 et 3 (Fig. 3a). Le régime alimentaire des jeunes cormorans présentait quant à lui une hétérogénéité temporelle plus marquée que celui des adultes entre les périodes 2 et 3 et ce, en examinant la proportion des proies exprimées en

pourcentage d'abondance ($G = 14,51$; d.d.l. = 3; $p < 0,005$) ainsi qu'en pourcentage d'occurrence ($G = 7,857$; d.d.l. = 3; $p < 0,05$) (Fig. 3c, d). L'abondance des meuniers a ainsi doublé entre les périodes 2 et 3 pendant que l'abondance des ouitouches et ombles de fontaine diminuait de 10 % (Fig. 3c).

Taille des proies

Nous avons estimé la longueur totale et le poids de 927 proies trouvées dans les boulettes ainsi que de 198 proies trouvées dans les boli en utilisant les équations de régression spécifiques reliant la longueur totale ou le poids à la longueur de la structure osseuse ou la hauteur du pédoncule caudal. Les proies trouvées dans les boulettes étaient généralement de plus petite taille que celles trouvées dans les boli (ANOVA; $F = 180,114$; d.d.l. = 1, 1123; $p < 0,001$; Fig. 4). La longueur moyenne des proies trouvées respectivement dans les boulettes et les boli était de 104,6 mm (écart-type = 35,6; $n = 927$) et de 153,6 mm (é.-t. = 62,6; $n = 198$). Mis à part l'omble de fontaine, la taille des proies consommées par les adultes diminuait entre la période 1 et les périodes 2 et 3 (ANOVA; $F = 18,433$; d.d.l. = 2, 924; $p < 0,001$) (Fig. 5a). Les proies trouvées dans les boli étaient aussi significativement plus petites plus tard en saison, à la période 3 (ANOVA; $F = 7,015$; d.d.l. = 1, 196; $p < 0,01$) (Fig. 5b).

La perchaude constituait la plus petite proie consommée par les cormorans adultes lorsque toutes les périodes d'échantillonnage étaient considérées (ANOVA; $F = 70,357$; d.d.l. = 3, 923; $p < 0,001$; test post hoc de Bonferroni; $p = 0,069$ pour la comparaison avec les trois autres espèces), les autres proies étant de taille semblable (test post hoc de Bonferroni; $p > 0,718$). Dans les boli, les ouitouches et les perchaudes étaient

significativement plus petites que les meuniers et les ombles (ANOVA; $F = 43,886$; d.d.l. = 3, 194; $p < 0,001$; test post hoc de Bonferroni; $p < 0,05$ pour la comparaison avec les deux autres espèces) (Fig. 5b). Les ombles de fontaine trouvés dans les boli dont on a pu estimer la taille originale ($n = 21$) mesuraient en moyenne 228,7 mm (138-403 mm) et pesaient 143,6 g (24,6-671,8 g) (Fig. 6).

Pression de prédation sur les populations d'omble de fontaine

L'omble de fontaine représentait 26,2% de la biomasse des proies consommées par les oisillons de la colonie pendant les périodes 2 et 3 en 2003. En utilisant la valeur de consommation journalière estimée par Fowle (1997), la consommation totale d'omble par les jeunes cormorans de la colonie est évaluée, pour l'année 2003, à 1186 kg ($0,262 \cdot 0,327 \text{ kg} \cdot \text{jour}^{-1} \cdot 13844 \text{ oiseaux-jours}^{-1}$). Lorsqu'un rayon d'alimentation variable, de 8 à 20 km de la colonie, est utilisé dans le calcul de la pression de prédation exercée par le cormoran sur l'omble de fontaine, les valeurs obtenues se situent entre 0,1 et 1,0 kg $\cdot \text{ha}^{-1}$ (Fig. 7). La valeur médiane de prélèvement d'omble de fontaine par les pêcheurs sportifs de la région est de 0,63 kg $\cdot \text{ha}^{-1}$ (Fig. 8). L'importance de la pression de prédation exercée par les cormorans, dépendante des valeurs de r et C utilisées dans le calcul, est donc variable selon les scénarios. Elle représente toutefois une quantité non négligeable de poissons lorsque comparée à la pression exercée par les pêcheurs sportifs de la région.

Discussion

Plusieurs études conduites en Amérique du Nord ont mené à la description du régime alimentaire du cormoran à aigrettes. Les résultats de ces études ont mis en lumière

les qualités de prédateurs opportunistes et généralistes des cormorans (VanDe Valk *et al.* 2002; Campo *et al.* 1993; Craven et Lev 1987). Les résultats de notre étude dénotent toutefois la présence d'un nombre limité d'espèces de poisson dans le régime alimentaire des cormorans de l'île Steamboat, reflétant ainsi la faible diversité caractéristique des eaux entourant la colonie. Le régime alimentaire des cormorans était principalement composé de quatre espèces de poissons, toutes abondantes dans la région : les meuniers, la ouitouche, la perchaude et l'omble de fontaine. Les meuniers et la ouitouche se trouvent pratiquement dans toutes les eaux de la région alors que la perchaude et l'omble de fontaine ne se trouvent que rarement en sympatrie dans le même lac. Le lac soutenant une population de perchaude le plus près de la colonie de l'île Steamboat est situé à 8,5 km, suggérant cette distance comme distance minimum parcourue par certains individus lors des vols d'alimentation. Le pourcentage d'occurrence élevé des meuniers (70,6 %) et de la ouitouche (54,8 %) dans le régime alimentaire des adultes, en comparaison avec le pourcentage d'occurrence de la perchaude (30,2 %) et de l'omble de fontaine (7,1 %), reflète vraisemblablement leur plus grande disponibilité sur le territoire. En effet, ces espèces se trouvent fréquemment en sympatrie avec la perchaude et avec l'omble de fontaine et deviennent ainsi potentiellement accessibles aux cormorans à chacun de leurs vols d'alimentation.

Adultes vs oisillons

L'omble de fontaine prend une importance beaucoup plus grande dans le régime alimentaire des oisillons que dans celui des cormorans adultes. Cette différence pourrait être expliquée par la digestion différentielle des otolithes d'omble de fontaine dans

l'estomac des cormorans, phénomène n'ayant toutefois jamais été rapporté dans la littérature. Aussi, les otolithes des plus petits poissons consommés par les cormorans risquent d'être moins bien représentés dans les boulettes de régurgitation en raison de l'érosion plus sévère que subissent ces petites structures dans l'estomac des cormorans (Johnstone *et al.* 1990; Carrs et Marquiss 1997). Nous n'avons toutefois noté aucune différence entre la taille des otolithes d'omble de fontaine et celle des otolithes de meuniers ou de ouitouche, structures osseuses abondamment retrouvées dans les boulettes. Ainsi, nous ne pouvons prouver hors de tout doute que la proportion d'omble de fontaine dans le régime alimentaire des adultes ait pu être sous-estimée. La proportion élevée d'omble de fontaine dans le régime alimentaire des oisillons, lorsque comparée à celle des adultes, pourrait, dans un deuxième temps, être expliquée par la sélection préférentielle de cette espèce par les parents nourriciers. Harris et Wanless (1993) ont en ce sens démontré que la sélection de proies au contenu calorifique élevé de la part des adultes cormorans huppés (*Phalacrocorax aristotelis*) servait à nourrir les jeunes plutôt qu'à leur propre alimentation. La distribution spatiale des proies pourrait tout aussi bien avoir un rôle à jouer dans la composition du régime alimentaire des cormorans puisque les lacs à proximité du Grand lac Wayagamac contiennent de l'omble de fontaine plutôt que de la perchaude. La proportion élevée d'omble de fontaine décelée dans les boli refléterait ainsi la propension des adultes à parcourir de plus courtes distances lorsqu'ils ramènent des proies au nid. La réduction du temps de recherche de nourriture associée à l'alimentation dans les eaux situées à proximité de la colonie pourrait alors contribuer à la maximisation des gains énergétiques des cormorans pendant la saison de reproduction.

Variation temporelle

Plusieurs études ont mis en lumière l'effet de la temporalité sur la composition du régime alimentaire des cormorans sur de courtes périodes, au cours de la saison de reproduction par exemple, et de longues périodes (Blackwell *et al.* 1995; Rail et Chapdelaine 1998; Johnson *et al.* 2002). Certaines de ces études ont d'ailleurs démontré l'importance de tenir compte de cette variabilité temporelle dans l'estimation de l'impact de la prédation exercée par le cormoran sur les communautés aquatiques. En ce qui concerne le régime alimentaire des cormorans adultes de l'île Steamboat, nous avons observé une légère variabilité temporelle, les proies les plus importantes y étant représentées en proportions semblables et ce, tout au cours de la saison de reproduction. Les meuniers noirs et rouges, consommés par les adultes en proportion élevée et constante, représentent typiquement la plus grande biomasse de poissons dans les lacs où ces deux espèces cohabitent avec l'omble de fontaine (Brodeur *et al.* 2001). La prédominance de ces espèces dans le régime alimentaire des adultes pourrait ainsi être expliquée par leur plus grande disponibilité. Le régime alimentaire des oisillons, lorsque comparé à celui des adultes, apparaissait beaucoup plus variable entre les périodes 2 et 3, différence marquée par l'augmentation des meuniers à la période 3. Cette variabilité suggère un changement des préférences alimentaires ou des sites d'alimentation exploités par les adultes au cours de la période d'élevage des jeunes cormorans.

Taille des proies

La taille des poissons consommés par les cormorans de l'île Steamboat en 2003 était comparable à celle des proies consommées par les cormorans étudiés en divers

habitats (Hobson *et al.* 1989; Campo *et al.* 1993; Neuman *et al.* 1997). Les proies trouvées dans les boli étaient par contre de plus grande taille que les proies trouvées dans les boulettes. Les adultes nourrissaient donc vraisemblablement leur progéniture de proies de plus grande taille que celles dont ils s'alimentaient eux-mêmes. Il est toutefois probable que le seul résultat de l'érosion des structures osseuses ayant séjourné dans l'estomac des cormorans adultes ait mené à la sous-estimation de la taille des proies trouvées dans les boulettes (Carrs 1997; Wires *et al.* 2001). Dans le régime alimentaire des adultes et des jeunes cormorans, la taille estimée des meuniers, ouitouche et perchaude diminuait du début à la fin de la saison de reproduction. Ainsi, les poissons de petite taille (taille moyenne entre 78 et 107 mm dans les boulettes) consommés vers la fin de l'été seraient possiblement issus des petites classes de taille qui échappaient à la prédation du cormoran en début de saison et qui y seraient devenues vulnérables suite à la période de croissance estivale. Les cormorans de l'île Steamboat exerceraient donc une pression de prédation sur de plus petites classes de taille en fin de saison.

Pression de prédation sur les populations d'omble de fontaine

Les cormorans et les adeptes de la pêche sportive sont tous deux prédateurs apicaux (supercarnivores) dans les milieux aquatiques qu'ils partagent (VanDe Valk *et al.* 2002). Aussi, la compétition existant entre ces deux piscivores à l'égard des mêmes espèces de poissons, notamment l'omble de fontaine, devrait être documentée et démontrée avant que ne soient entreprises des mesures coercitives visant à contrôler l'expansion des populations de cormorans. Une situation conflictuelle entre les cormorans de l'Île Steamboat et les pêcheurs sportifs surgirait dans l'éventualité où ces

parties seraient tous deux à la recherche d'ombles de fontaine de la même taille. À cet égard, la législation québécoise permet la capture d'ombles de fontaine de toutes tailles, la capture de petits ombles étant fréquente en ruisseaux. En conséquence, tous les ombles consommés par les cormorans auraient pu être capturés par un pêcheur, ce qui ouvre la porte à une situation conflictuelle. Par contre, dans le type d'écosystème étudié, la prise d'ombles de fontaine de taille supérieure à 200 mm est généralement souhaitée par les pêcheurs et nos résultats démontrent que 75 % des ombles consommés par les cormorans sont de taille supérieure à 200 mm.

La pression de prédation exercée par les cormorans de l'île Steamboat sur les populations d'omble de fontaine a été estimée sur la base de la consommation des jeunes cormorans puisque seul ce groupe semblait consommer une quantité appréciable d'ombles de fontaine (26,6 % pour les oisillons vs 1,5 % pour les adultes). La consommation totale d'ombles de fontaine par les oisillons a donc été estimée, pour l'année 2003, à 1186 kg. En utilisant une valeur de consommation journalière de 0,450-0,580 kg \cdot jour⁻¹ pour les adultes (Dunn 1975; Glahn et Brugger 1995; Fowle 1997), la consommation d'ombles estimée pour ce groupe d'oiseaux se situerait entre 135 et 175 kg par année, ce qui nous apparaît négligeable.

La pression de prédation sur les populations d'omble de fontaine situées dans un rayon de 12,5 km de la colonie a ainsi été estimée à 0,28 kg \cdot ha⁻¹ en utilisant une valeur de consommation journalière de 0,327 kg \cdot jour⁻¹. Cette estimation demeure toutefois sensible aux valeurs de consommation journalière utilisées, mais plus particulièrement à la taille du domaine vital considérée dans l'équation. Comme notre étude n'impliquait pas le suivi télémétrique d'individus de la colonie de l'Île Steamboat, nous avons dû

recourir à des valeurs de distance de vol d'alimentation publiées pour nos calculs de pression de prédation. La distance minimale relatée dans la littérature se situe entre 2,0 et 2,4 km de la colonie pour deux sites de nidification situés dans le lac Michigan (Custer et Bunck 1992). Cette distance s'applique toutefois difficilement à la colonie de l'Île Steamboat puisque la présence de perchaude dans le régime alimentaire des cormorans témoigne de vols d'alimentation effectués sur une distance égale ou supérieure à 8,5 km de la colonie. L'utilisation d'un rayon d'alimentation de 12,5 km, en accord avec la distance moyenne parcourue par les cormorans à aigrettes, mâles et femelles, nichant dans l'estuaire de la rivière Columbia apparaît donc plus réaliste (Anderson *et al.* 2004). Cette valeur devrait toutefois être considérée minimale puisque l'estuaire dans lequel s'est déroulée cette étude constitue certainement un environnement très productif où les oiseaux ont accès à une ressource abondante à proximité de la colonie. La faible disponibilité des ressources, trait caractéristique des lacs oligotrophes du bouclier canadien, pourrait ainsi induire des déplacements plus importants de la part des cormorans afin de subvenir à leurs besoins énergétiques. Il serait sans doute plus adéquat d'utiliser un rayon de 20 km, tel que suggéré dans certaines études (Hobson *et al.* 1989; Edwards et Stewart 2002), dans le calcul de la superficie des lacs à omble de fontaine disponibles. À la lumière de ces informations, l'estimation de la pression de prédation demeure inévitablement dépendante de la qualité de l'estimation du domaine vital.

De plus, les ressources ne se répartissent vraisemblablement pas de façon uniforme sur le territoire à l'étude puisque tous les lacs n'offrent pas les mêmes conditions d'alimentation. Ainsi, il est probable que les cormorans exploitent les lacs et les rivières où les ressources sont plus abondantes et se partagent conséquemment le

territoire selon une distribution idéale libre (ideal free distribution) en fonction de l'abondance des ressources (Bernstein *et al.* 1991). Une estimation plus précise de la pression de prédation exercée par les cormorans de l'Île Steamboat passe inévitablement par le suivi télémétrique d'individus de la colonie afin de déterminer la taille du domaine vital des cormorans sur le bouclier canadien.

L'impact de la prédation du cormoran ne peut être évalué de façon claire sans comparer la valeur de pression de prédation estimée à la taille, la biomasse ou la productivité des populations d'omble de fontaine de la région. Ces données sont par contre difficiles à obtenir. Toutefois, nous pouvons comparer cette valeur au prélèvement d'omble de fontaine effectué par les pêcheurs sportifs, données disponibles pour plusieurs lacs et rivières de la région à l'étude. Notre estimation de la pression de prédation exercée par les cormorans ($0,1$ à $1,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ dans un rayon de 8 à 20 km) se situait dans le même ordre de grandeur que le prélèvement médian effectué par les pêcheurs sportifs ($0,63 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), en assumant une répartition uniforme de la prédation sur le territoire à l'étude. L'exploitation simultanée des ombles par les cormorans et les humains pourrait ainsi mener à la sous-estimation du prélèvement total d'ombles dans ces eaux et, conséquemment, à la surexploitation des stocks d'omble de fontaine de la région.

Impact indirect possible sur les populations d'omble de fontaine

Malgré la proportion importante d'omble de fontaine dans le régime alimentaire des jeunes cormorans, les meuniers et la ouitouche ont également été consommés en grande quantité. Ces deux espèces compétitrices de l'omble de fontaine (Bernatchez et Giroux 1991; Magnan 1988) représentaient respectivement 44,3 % et 23,9 % de la

biomasse consommée. Les meuniers et la ouitouche ne se trouvent pas exclusivement dans les lacs à omble de fontaine mais la réduction de la compétition inter spécifique résultant de la plus grande consommation de poissons compétiteurs pourrait avoir des effets positifs sur les populations d'omble de fontaine (*sensu* Campo *et al.* 1993). Le retrait expérimental de meuniers noirs dans les lacs où ils cohabitent avec l'omble de fontaine a eu, par exemple, en réponse à la diminution de la compétition, des effets positifs sur le recrutement de toutes les espèces, incluant l'omble de fontaine (Brodeur *et al.* 2001). Les autres réponses compensatoires associées au retrait de meuniers et observées chez les populations d'omble de fontaine sont l'amélioration de la croissance et de la fécondité (Brodeur *et al.* 2001). Ces réponses ont été observées dans les lacs où le retrait massif de meuniers noirs était intense (de $14,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ à $31,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) mais non récurrent (trois années consécutives suivies de trois années de suivi). Selon le meilleur scénario envisageable, en incluant la pression de prédation exercée par les adultes, les cormorans prélèveraient annuellement $1,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de meuniers noirs dans un rayon de 12,5 km de la colonie. La pression de prédation inférieure mais constante exercée sur cette espèce compétitrice, comparativement au retrait massif expérimental, pourrait potentiellement mener à l'amélioration des stocks d'omble de fontaine. À l'échelle de l'écosystème, l'arrivée d'un nouveau prédateur piscivore comme le cormoran sur le bouclier canadien pourrait avoir des conséquences importantes par des effets descendants, notamment sur les producteurs primaires (Carpenter *et al.* 1985). Dans le système à l'étude, les effets descendants se feraient vraisemblablement sentir sur les producteurs primaires benthiques plutôt que sur le phytoplancton puisque la plus grande

proportion des poissons consommés par les cormorans se nourrissent d'invertébrés benthiques.

Le comportement d'alimentation des cormorans de l'Île Steamboat n'a pu être documenté de façon satisfaisante en raison du nombre limité d'individus ayant été observés en alimentation sur quelques sites éloignés de la colonie. Les cormorans s'alimentant dans ces habitats peu productifs adopteraient un comportement d'alimentation individuel, en opposition au comportement grégaire d'alimentation observé chez le grand cormoran dans des habitats très productifs (Van Eerden et Voslamber 1995; Noordhuis *et al.* 1997; De Nie 1995). L'acquisition d'informations sur l'utilisation du territoire par les oiseaux de cette colonie par une étude de suivi télémétrique devient donc nécessaire et nous amènerait à (1) comprendre la répartition spatiale de la pression de prédation, (2) vérifier le rôle du succès de pêche sportive, qui serait directement lié à la taille de la population, dans la prédiction de la présence de cormorans, (3) évaluer la consommation de poissons après l'envol des oisillons et documenter la dispersion et la chronologie de la migration suite à la désertion de la colonie au début du mois de septembre.

Bibliographie

- Alvo, R. 1995. Cormoran à aigrettes. *Dans* Les oiseaux nicheurs du Québec: Atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional. *Sous la direction de* J. Gauthier et Y. Aubry. Association québécoise des groupes d'ornithologues, Société québécoise de protection des oiseaux, Service canadien de la faune, Environnement Canada, région du Québec, Montréal. pp. 232-235.
- Alvo, R., Blomme, C., et Weseloh, D.V. 2002. Double-crested cormorants, *Phalacrocorax auritus*, at inland lakes north of Lake Huron, Ontario. *Can. Field-Nat.* **116**: 359-365.
- Anderson, C.D., Roby, D.D., et Collis, K. 2004. Foraging patterns of male and female double-crested cormorants nesting in the Columbia River Estuary. *Can. J. Zool.* **82**: 541-554.
- Belyea, G.Y., Maruca, S.L., Diana, J.S., Schneeberger, P.J., Scott, S.J., Clark, R.D. Jr., et Ludwig, J.P. 1999. Impact of double-crested cormorant predation on the yellow perch population in Les Cheneaux islands of Michigan. *Dans* Symposium on double-crested cormorants: population status and management issues in the Midwest. *Sous la direction de* M.E. Tobin. USDA/APHIS Tech. Bull. No. 1879: 47-59.
- Bernatchez, L., et Giroux, M. 1991. Guide des poissons d'eau douce du Québec et leur distribution dans l'est du Canada. Éditions Broquet Inc., L'acadie, Qué.
- Bernstein, C., Kacelnik, A., et Krebs, J.R. 1991. Individual decisions and the distribution of predators in a patchy environment. II. The influence of travel costs and structure of the environment. *J. Anim. Ecol.* **60**: 205-225.

- Blackwell, B.F., Krohn, W.B., et Allen, R.B. 1995. Foods of nestling Double-crested Cormorants in Penobscot Bay, Maine, USA: Temporal and spatial comparisons. *Colon. Waterbirds*, **18**: 199-208.
- Brodeur, P., Magnan, P., et Legault, M. 2001. Response of fish communities to different levels of white sucker (*Catostomus commersoni*) biomanipulation in five temperate lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **58**: 1998-2010.
- Campo, J.J., Thompson, B.C., Barron, J.C., Telfair, R.C., II, Durocher, P., et Gutreuter, S. 1993. Diet of double-crested cormorants wintering in Texas. *J. Field Ornitho.* **64**: 135-144.
- Carpenter, S.R., Kitchell, J.F., et Hodgson, J.R. 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity. *BioScience*, **35**: 634-639.
- Carss, D.N. 1997. Techniques for assessing Cormorant diet and food intake: towards a consensus view. *Suppl. Ric. Biol. Selvaggina*, **26**: 197-230.
- Carrs, D.N. et Marquiss, M. 1997. The diet of cormorants *Phalacrocorax carbo* in Scottish freshwaters in relation to feeding habitats and fisheries. *Ekol. Pol.* **45**: 207-222.
- Chapdelaine, G., et Bédard, J. 1995. Recent changes in the abundance and distribution of the double-crested cormorant in the St. Lawrence River, Estuary and Gulf, Québec, 1978-1990. *Dans The double-crested cormorant: biology, conservation and management. Sous la direction de D.N. Nettleship et D.C. Duffy. Colon. Waterbirds*, **18** (Spec. Publ. 1): 70-77.

- Craven, S.R., et Lev, E. 1987. Double-crested cormorants in the Apostle Islands, Wisconsin, USA: Population trends, food habits, and fishery depredations. *Colon. Waterbirds*, **10**: 64-71.
- Collis, K., Roby, D.D., Craig, D.P., Adamany, S.L., Adkins, J.Y., et Lyons, D.E. 2002. Colony size and diet composition of piscivorous waterbirds on the lower Columbia River: implications for losses of juvenile salmonids to avian predation. *Trans. Am. Fish. Soc.* **131**: 537-550.
- Custer, T.W., et Bunck, C. 1992. Feeding flights of breeding double-crested cormorants at two Wisconsin colonies. *J. Field Ornitho.* **63**: 203-211.
- De Nie, H. 1995. Changes in the inland fish populations in Europe in relation to the increase of the Cormorant *Phalacrocorax carbo sinensis*. *Ardea*, **83**: 115-122.
- Desgranges, J.-L., Chapdelaine, G., et Dupuis, P. 1984. Sites de nidification et dynamique des populations du cormoran à aigrettes au Québec. *Can. J. Zool.* **62**: 1260-1267.
- Dunn, E.H. 1975. Caloric intake of nestling double-crested cormorants. *Auk*, **92**: 553-565.
- Edwards, P.A., et Stewart, T.J. 2002. Cormorants in the vicinity of Presqu'île Provincial Park at the Bay of Quinte. *Dans Lake Ontario Communities and Fisheries: 2001 Annual Report of the Lake Ontario Management Unit. Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, Picton, Ontario, Canada.*
- Fowle, M.R. 1997. Population dynamics, food habits, and bioenergetics of double-crested cormorants in Lake Champlain. *Mémoire de maîtrise. Université du Vermont, Burlington.*

- Glahn, J. F. et K. E. Brugger. 1995. The impact of double-crested cormorants on the Mississippi Delta catfish industry: a bioenergetics model. *Dans* The double-crested cormorant: biology, conservation and management. *Sous la direction de* D.N. Nettleship et D.C. Duffy. *Colon. Waterbirds*, **18** (Spec. Publ. 1): 168-175.
- Harris, M.P., et Wanless, S. 1993. The diet of shags *Phalacrocorax aristotelis* during the chick-rearing period assessed by three methods. *Bird Study*, **40**: 135-139.
- Hatch, J.J. 1995. Changing populations of double-crested cormorants. *Dans* The double-crested cormorant: biology, conservation and management. *Sous la direction de* D.N. Nettleship et D.C. Duffy. *Colon. Waterbirds*, **18** (Spec. Publ. 1): 8-24.
- Hobson, K.A., Knapton, R.W., et Lysack, W. 1989. Population, diet, and reproductive success of double-crested cormorants breeding on Lake Winnipegosis, Manitoba, in 1987. *Colon. Waterbirds*, **12**: 191-197.
- Hoyle, J.A., Casselman, J.M., et Schaner, T. 1999. Smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*) population status in eastern Lake Ontario, 1978 to 1998. *Dans* Lake Ontario Management Unit: 1998 Annual Report. Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, Picton, Ontario, Canada.
- Hughes, B., Bruce, J., Ekins, G., et Newson, S. 2000. Movements and distribution of inland breeding cormorants in England. English Nature Research Report No. 360.
- Johnson, J.H., Ross, R.M., et Smith, D.R. 1997. Evidence of secondary consumption of invertebrate prey by double-crested cormorants. *Colon. Waterbirds*, **20**: 547-551.

- Johnson, J.H., Ross, R.M., McCullough, R.D., et Edmonds, B. 2002. Diet composition and fish consumption of double-crested cormorants from the Little Galloo Island colony of Eastern Lake Ontario in 2001. *Dans* Impact of double-crested cormorant predation on smallmouth bass and other fishes of the eastern basin of Lake Ontario. NYSDEC Special Report-March 1, 2002.
- Johnstone, J.G., Harris, M.P., Wanless, S., et Graves, J.A. 1990. The usefulness of pellets for assessing the diet of adult shags *Phalacrocorax aristotelis*. *Bird Study*, 37: 5-11.
- Lindell, L. 1997. Development of the breeding population of cormorants in Sweden, 1992-1995. *Suppl. Ric. Biol. Selvaggina* 26: 23-29.
- Lovvorn, J.R., Yule, D., et Derby, C.E. 1999. Greater predation by double-crested cormorants on cutthroat versus rainbow trout fingerlings stocked in a Wyoming river. *Can. J. Zool.* 77: 1984-1990.
- Magnan, P. 1988. Interactions between brook charr, *Salvelinus fontinalis*, and non-salmonid species: ecological shift, morphological shift, and their impact on zooplankton communities. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 999-1009.
- Madenjian, C.P., et Gabrey, S.W. 1995. Waterbird predation on fish in western Lake Erie: a bioenergetics model application. *Condor*, 97: 141-153.
- Modde, T., Wasowicz, A.F., et Hepworth, D.K. 1996. Cormorant and grebe predation on rainbow trout stocked in a Southern Utah reservoir. *N. Am. J. of Fish. Manag.* 16: 388-394.

- Neuman, J., Pearl, D.L., Ewins, P.J., Black, R., Weseloh, D.V., Pike, M., et Karwowski, K. 1997. Spatial and temporal variation in the diet of double-crested cormorants (*Phalacrocorax auritus*) breeding on the lower Great Lakes in the early 1990s. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **54**: 1569-1584.
- Noordhuis, R., Marteijn, E.C.L., Noordhuis, R., Dirksen, S., et Boudewijn, T.J. 1997. The trophic role of cormorants *Phalacrocorax carbo* in freshwater ecosystems in the Netherlands during the non-breeding period. *Ekol. Pol.* **45**: 249-262.
- Ottenbacher, M.J., Hepworth, D.K., et Berg, L.N. 1994. Observations on double-crested cormorants (*Phalacrocorax auritus*) at sportfishing waters in southwestern Utah. *Great Basin Nat.* **54**: 272-286.
- Rail, J.-F., et Chapdelaine, G. 1998. Food of double-crested cormorants, *Phalacrocorax auritus*, in the Gulf and Estuary of the St. Lawrence River, Quebec, Canada. *Can. J. Zool.* **76**: 635-643.
- Rudstam, L.G., VanDe Valk, A.J., Adams, C.M., Coleman, J.T.H., Forney, J.L., et Richmond, M.E. 2004. Cormorant predation and the population dynamics of walleye and yellow perch in Oneida Lake. *Ecol. Applications*, **14**: 149-163.
- Sellers, R.M., Ekins, G.R., Hughes, B., et Kirby, J.S. 1997. Population development of inland breeding cormorants in Great Britain. *Suppl. Ric. Biol. Selvaggina* **26**: 11-21.
- VanDe Valk, A.J., Adams, C.M., Rudstam, L.G., Forney, J.L., Brooking, T.E., Gerken, M.A., Young, B.P., et Hooper, J.T. 2002. Comparison of angler and cormorant harvest of walleye and yellow perch in Oneida Lake, New York. *Trans. Am. Fish. Soc.* **131**: 27-39.

- van de Walle, E. 1997. Liste annotée des oiseaux de l'Abitibi. Société du Loisir Ornithologique de l'Abitibi, Rouyn-Noranda, Québec.
- Van Eerden, M.R., et Voslamber, B. 1995. Mass fishing by cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis* at Lake IJsselmeer, The Netherlands: a recent and successful adaptation to a turbid environment. *Ardea*, **83**: 199-212.
- Weseloh, D.V., et Collier, B. 1995. The rise of the double-crested cormorant on the Great Lakes: winning the war against contaminants. Great Lakes Fact Sheet. Service canadien de la faune, Environment Canada et Long Point Observatory.
- Weseloh, D.V., Ewins, P.J., Struger, J., Mineau, P., Bishop, C.A., Postupalsky, S., et Ludwig, J.P. 1995. Double-crested cormorants of the Great Lakes: Changes in population size, breeding distribution and reproductive output between 1913 and 1991. *Dans* The double-crested cormorant: biology, conservation and management. *Sous la direction de* D.N. Nettleship et D.C. Duffy. Colon. Waterbirds, **18** (Spec. Publ. 1): 48-59.
- Wires, L.R., Cuthbert, F.J., Trexel, D.R., et Joshi, A.R. 2001. Status of the double-crested cormorant (*Phalacrocorax auritus*) in North America. Final Report to USFWS.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical analysis. 2nd ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

CHAPITRE II : MANUSCRIT

Potential impacts of an expanding inland colony of double-crested cormorant (*Phalacrocorax auritus*) on Canadian Shield fish communities

¹Olivier Mathieu

²Charles Maisonneuve

¹Gilbert Cabana

¹Département de Chimie-Biologie, Université du Québec à Trois-Rivières,
Trois-Rivières, Québec, Canada G9A 5H7

²Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la
recherche sur la faune, 675 boul. René-Lévesque Est, 11^{ème} étage, boîte 92,
Québec, Canada G1R 5V7

Résumé

La population nord-américaine de cormoran à aigrettes (*Phalacrocorax auritus*) nichant dans les terres, sur des lacs d'eau douce, connaît actuellement une phase de croissance. Cet oiseau piscivore colonial est aujourd'hui installé sur certains lacs oligotrophes du bouclier canadien. Les objectifs de notre étude visaient dans un premier temps la description du régime alimentaire du cormoran dans un milieu nouvellement colonisé, la Haute-Mauricie. La caractérisation du régime alimentaire des cormorans s'est effectuée par l'analyse des boulettes régurgitées par les adultes et des boli régurgités par les oisillons. Les résultats ont mis en relief la présence de quatre espèces de poisson, meuniers (*Catostomus* sp.), ouitouche (*Semotilus corporalis*), perchaude (*Perca flavescens*) et omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), dans le régime alimentaire des cormorans, jeunes et adultes. La proportion que prend chacune des proies dans le régime alimentaire du cormoran était peu variable temporellement alors que la taille de ces proies diminuait au cours de la saison de nidification. L'omble de fontaine, consommé de façon marginale par les adultes, constituait toutefois 26 % de la biomasse totale des proies dans le régime alimentaire des oisillons. L'évaluation de la pression de prédation exercée par le cormoran sur les stocks d'omble de fontaine, une espèce prisée par les pêcheurs sportifs de la région, a révélé une consommation annuelle se situant entre 0,1 et 1,0 kg • ha⁻¹, consommation variable en fonction des valeurs de taille du territoire d'alimentation utilisées par les cormorans et de leur consommation journalière de poissons considérées dans l'équation. La pression de prédation exercée par les cormorans représenterait ainsi un prélèvement d'omble de fontaine du même ordre de grandeur que

celui effectué par les pêcheurs sportifs de la région dont le prélèvement médian est de $0,63 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$.

Abstract

Inland populations of double-crested cormorant (*Phalacrocorax auritus*), a piscivorous colonial waterbird, are currently expanding in Eastern North America. Breeding populations have recently colonized a number of inland lakes situated on the Canadian Shield. We report here a study of the diet of adult and juvenile cormorants from a recently established inland colony on the Canadian Shield. Diet was assessed by analysis of fish remains identified from pellets cast by adults and boli regurgitated by nestlings. Diet of both age classes of birds was comprised essentially of four fish species: brook char (*Salvelinus fontinalis*), suckers (*Catostomus* sp.), fallfish (*Semotilus corporalis*), and yellow perch (*Perca flavescens*). However, brook char was rarely identified in pellets cast by adults but amounted to 26% of total fish biomass consumed by nestlings. Diet composition of adults and nestlings showed little seasonal variation. On the other hand, size of prey consumed by cormorants decreased from the beginning to the end of the breeding season. Estimates of predation impact on brook char by this colony varied approximately between 0.1 and $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, depending on the assumed values for the foraging radius of adults from the colony and the average nestling daily ingestion rate. Thus, cormorant predation may represent an intake similar to that of brook char sport fishing in the region where median yearly harvest was $0.63 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$.

Keywords

Double-crested cormorant, *Phalacrocorax auritus*, oligotrophic lakes, brook char, predation pressure

Introduction

Similarly to what has occurred in Europe with populations of great cormorants (*Phalacrocorax carbo*), double-crested cormorant (*Phalacrocorax auritus*) populations in North America have recently increased dramatically (Hatch 1995; Hughes et al. 2000). This fast demographic growth observed in the last thirty years contrasts with the low values of reproductive success recorded from the 1950s through the 1970s in the interior of United States and Canada (Weseloh and Collier 1995). The recovery of double-crested cormorant populations is thought to be due to a combination of factors including reduction of DDT contamination, increase in prey fish availability, and protection of the species under federal laws (Chapdelaine and Bédard 1995; Weseloh et al. 1995).

Population growth and the resulting breeding range expansion of this piscivore has lead to growing perceived or real conflicts between humans and cormorants. Commercial and recreational fishermen are particularly worried about predation pressure exerted by cormorants and the resulting competition for resources. Consequently, numerous studies have been initiated to examine the extent of conflictual situations between cormorants and fisheries (Belyea et al. 1999; Hoyle et al. 1999; VanDe Valk et al. 2002). Moreover, from an ecosystem-wide point of view, increases in the number of top predators such as cormorants have the potential to alter ecosystem processes and community structures in lakes (Carpenter et al. 1985; Rudstam et al. 2004). Potential effects associated with cormorant presence, either on fish communities, vegetation or other colonial birds, are now spreading as some new colonies are established inland away from traditional breeding grounds (Alvo et al. 2002). This phenomenon is increasing in eastern North America where freshwater lakes situated away from the Great Lakes-St-

Lawrence axis have experienced the arrival and breeding of this new predator in their waters (Wires et al. 2001). In the Province of Québec, where cormorants were historically only associated with marine environments of the St. Lawrence Estuary and Gulf (Desgranges et al. 1984), new colonies were formed inland in the mid 1980s (Alvo 1995). From a founder colony established in Abitibi (Quebec) by the end of the 1980s, several others within 100 km have been successfully established and have increased in size through the 1990s (van de Walle 1997). During the same period, a colony was established in the Mauricie region near La Tuque and rapidly grew to around 100 breeding pairs more than 200 km north of the St-Lawrence axis (present study). A similar pattern of inland colony establishment and subsequent growth has been documented for great cormorants in England and other European countries which also followed a rapid increase of the breeding populations (Lindell 1997; Sellers et al. 1997; Hughes et al. 2000).

Inland lakes located on the Canadian Shield support an important sportfishery for brook char (*Salvelinus fontinalis*). The recent cormorant colonization of Steamboat Island, located on Lake Wayagamac in the Mauricie region north of Trois-Rivières (Fig.1), and subsequent increase in nesting pair numbers raises concern about the potential effects of cormorant predation on these valuable fish stocks. Salmonids are known to be heavily preyed by cormorants at stocked fisheries (Ottenbacher et al. 1994; Modde et al. 1996; Lovvorn et al. 1999) and when natural aggregations occur during migration runs (Collis et al. 2002), but predation on natural populations of brook char has never been documented on the Canadian Shield, a wide area including the majority of lakes supporting brook char populations.

The objectives of this study were to (1) compare diet composition of adult and nestling double-crested cormorants using regurgitated material collected on Steamboat Island, (2) examine temporal variation in diet over the course of the 2003 breeding season, and (3) assess the extent of predation pressure exerted by double-crested cormorants on regional brook char populations.

Methods

Study area

The study was conducted on Steamboat Island (area \approx 2 ha), located on Lake Wayagamac near La Tuque, Québec (47°21'N, 72°39'W) (Fig.1). Historically, the island already supported other colonial nesting bird species: great blue herons (*Ardea herodias*), black-crowned night-herons (*Nycticorax nycticorax*), and herring gulls (*Larus argentatus*). From two pairs first noted there in 1988, numbers of breeding double-crested cormorants rose to 95 pairs in 2003 while numbers of great blue herons decreased from 85 pairs to 48 pairs during the same period of time. Recent data on black-crowned night-herons numbers are currently missing. Lake Wayagamac is a deep oligotrophic lake with a surface area of 2383 ha and an average depth of 40 m. This lake supports sportfisheries for brook char and arctic char (*Salvelinus alpinus*), which have an important local economic impact. Longnose sucker (*Catostomus catostomus*), white sucker (*C. commersoni*), and fallfish (*Semotilus corporalis*) are also found within these waters. Lakes located within a 25 km radius of the colony support two types of fish communities: 1) brook char living in allopatry or sympatry with catostomids and cyprinids, and 2)

yellow perch (*Perca flavescens*) sympatric with pike (*Esox lucius*) and/or walleye (*Lucioperca vitreum*).

Sampling methods

Diet of cormorants was assessed through examination of fish remains found in 126 cast oral pellets and 273 regurgitated boli collected on the colony. Pellets, representing indigestible parts of foods that are typically regurgitated in the morning after a night of digestion, are considered to represent the diet of adults since young cormorants do not produce any until fledging time. Conversely, regurgitated boli on the colony, representing more recently ingested materials regurgitated by cormorants in response to disturbance are more often associated with nestling diet (Neuman et al. 1997; Rail and Chapdelaine 1998; Wires et al. 2001). We visited the colony approximately three times a week from 20 May to 20 August 2003. The ground at the base of nesting trees in a section of the colony was cleared of all debris and plastic sheets were laid on the ground to facilitate pellet and bolus recovery. This accelerated the sampling time and reduced disturbance in the colony during sample collection. Sampling effort was concentrated in one half of the colony where all available material was collected. Material was also collected from rocks surrounding the island, where cormorants were often observed resting. Pellets and boli were individually sealed in plastic bags and stored in a freezer soon after collection. The breeding season was divided into three periods allowing for temporal comparisons in cormorant diet: egg laying and incubation (period 1, 20 May- 22 June 2003), hatching and early rearing, starting when half of the nests from the colony had chicks in them (period 2, 23 June- 29 July 2003), and end of rearing until fledging,

ending when half of the colony was deserted (period 3, 30 July- 20 August 2003). Pellets were collected during sampling periods 1 ($n = 41$), 2 ($n = 52$) and 3 ($n = 33$) while boli were collected during sampling periods 2 ($n = 206$) and 3 ($n = 67$).

We removed all diagnostic bones found in pellets to identify fish species consumed by cormorants. The number of individual fish consumed was determined by counting paired otoliths. Remaining unpaired otoliths were also attributed to individual fish. Other diagnostic bones such as cleithra, pharyngeal arches and opercles, paired or not, were considered to represent individual fish when no other fish of the species represented by this structure was identified as such by otolith examination. Identification was performed by comparisons with material in reference collection of diagnostic bones of fish species collected in lakes and rivers within a 15 km radius of Lake Wayagamac. Prey species found in boli regurgitated by cormorants were usually preserved well enough for direct visual identification. Diagnostic bones were nonetheless removed from every fish to enable identification of prey in state of advanced digestion and to later estimate original length and fresh mass of ingested fish. Species of the genus *Catostomus* (*C. commersoni* and *C. catostomus*) were grouped as suckers while other fish were generally identified to the species level. Non-fish food items such as crayfishes and frogs were recorded as part of the diet of double-crested cormorants, while gastropods and insect larvae were excluded from analysis since their presence in the diet was likely the result of secondary consumption (Johnson et al. 1997).

Original total length and fresh mass of ingested fish were estimated from separate regression equations relating total fish length and fresh mass to bone structure length or peduncle height for suckers, fallfish, yellow perch, and brook char. Fish used in the

calculations of regression equations were caught in Lake Wayagamac with gill nets, except for yellow perch which were caught in Lac-à-Beauce (Fig. 1). When more than one bone structure was available for a single prey fish, total length and fresh mass were estimated from the linear regression equation that displayed the highest coefficient of determination (Table 1). All otolith lengths were measured from edge to edge along the longest axis using SigmaScan Pro 4.01 (SPSS Inc., Chicago, Illinois) image analysis software, while other bones were measured with a caliper. Otoliths were mounted on microscope slides prior to measurement. Mean length from paired bones was used in further analyses. Total length of intact or fairly intact fish found in regurgitated boli was either taken directly or estimated from peduncle height.

Statistical analysis

Double-crested cormorant diet data are reported as percent abundance (i.e. the overall frequency of prey items belonging to a certain prey species relative to the total number of prey items identified over all pellets collected) and percent frequency of occurrence (i.e. the percentage of individual pellets in which at least one individual of a certain prey species was recorded relative to the total number of pellets collected). We compared prey frequency distributions from pellets and boli to assess differences between adult and chick diet using *G* tests (Zar 1999) with a 0.05 level of significance. We performed these analyses with the four main prey items, suckers, fallfish, yellow perch and brook char, for which frequencies met the *G* test requirements. Temporal variation of diet composition was also examined with *G* tests: pellet contents from the three sampling periods were compared, whereas the contents of boli from the two last

periods were compared. We used a one-way analysis of variance (ANOVA) to compare 1) estimated mean total length of prey species from pellets vs boli, 2) mean total length among the four main prey items, and 3) mean total length of all prey items among sampling periods. Estimated total fish length data were log-transformed before application of statistical tests in order to normalize frequency distributions and homogenize variances (Zar 1999). All statistical analyses were performed with SYSTAT version 9.0 software (SPSS Inc., Chicago, Illinois).

Estimation of predation pressure on brook char

We calculated brook char proportion by mass in cormorant diet (B = brook char biomass • total biomass⁻¹) found in boli to estimate total biomass of this fish species consumed by cormorants as predation on brook char was essentially all attributable to nestling feeding rather than feeding by adults (see below). This result was then used to evaluate predation pressure per lake area on lakes in the vicinity of Lake Wayagamac. Predation pressure on char was estimated using the formula modified from Modde et al. (1996):

$$(1) \quad P = (B \cdot C \cdot N) / A$$

where the proportion by mass of brook char in diet (B) is multiplied by the average daily consumption of fish by nestling cormorants during their development (C) and by the total number of bird-days for nestlings on the lake (N) to obtain total brook char consumption by nestling cormorants on Steamboat Island for 2003. N was estimated at 13844 bird-

days by multiplying mean fledging success ($2.47 \text{ fledglings} \cdot \text{nest}^{-1}$), determined on a sample plot on Steamboat Island, by the total number of active nests (95 nests in 2003) and by nestling period duration, estimated at 59 days (periods 2 and 3) (present study). Fowle (1997) estimated mean daily consumption of fish by nestling cormorants (C) during the eight week nestling period on Lake Champlain as $0.327 \text{ kg} \cdot \text{day}^{-1}$. This value was derived from body weight allometric estimates of nestling daily energy expenditure following the methodology of Madenjian and Gabrey (1995). Total brook char consumption ($B \cdot C \cdot N$) is then divided by total area of lakes and rivers containing brook char (A) situated within a certain radius (r) of the colony to obtain an estimate of nestling cormorants predation pressure on brook char (P) in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$. Using MapInfo 5.5 (MapInfo Corporation, Troy, New York) we estimated the proportion of total area of brook char lakes over an assumed circular foraging area with a radius of 20 km (including land) for the region surrounding Lake Wayagamac to be 0.087 (based on unpubl. data on local distribution of fish species provided by Michel Lemieux, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'Aménagement de la Faune, Région de la Mauricie, 605 de la Station, Shawinigan, QC, G9N 1V9). This proportion of char lakes by area was assumed to be fixed over the landscape in our calculations and A for various foraging radii was calculated as $0.087 \cdot \pi \cdot r^2$. To examine how estimated predation pressure was sensitive to variation in the assumed values of C and r , two parameters that were not directly estimated in the present study, we carried a sensitivity analysis letting these parameters vary over ranges of values reported in the literature. Dunn (1975) and Fowle (1997) reported values of 0.434 and $0.327 \text{ kg} \cdot \text{day}^{-1}$, respectively, for average nestling ingestion rate and, accordingly, we let C take values of

0.300, 0.400, and 0.500 kg • day⁻¹ in our models. For each value of C , we then calculated predation pressure on brook char over a range of foraging radii from the colony ($r = 8$ to 20 km) reflecting average foraging distances reported for double-crested cormorant (Hobson et al. 1989, Edwards and Stewart 2002, Anderson et al. 2004). We assumed that predation pressure was evenly distributed over brook char lakes within these foraging radii. We then compared cormorant predation pressure on brook char to angler harvest in the area. Brook char harvest data (kg • ha⁻¹) originated from 178 lakes and rivers located in the vicinity of the study area (Michel Lemieux, unpubl. data). We used mean brook char harvest from every lake over multiple years and removed years where poisoning and stocking (closed lakes) were carried out.

Results

We identified a total of 1397 prey items from eight taxonomic groups. Unidentified fish species represented 9.0% and 6.6% of total prey items found in pellets and boli, respectively. High erosion level of otoliths found in pellets was the main reason leading to unidentified prey. Four fish taxa, suckers, fallfish, yellow perch and brook char, constituted 98.6% and 95.5% of identified prey in pellets and boli, respectively (Table 2). Frog remains were only found in boli, while remains of bullhead (*Ameiurus sp.*) were found in pellets exclusively. Besides those two rare prey items, we found the same taxonomic groups in both pellets and boli. One of the most abundant prey species, yellow perch, is not found in the Lake Wayagamac watershed and the closest lake from the colony supporting yellow perch is situated 8.5 km from it.

Adults vs. chicks

Significant differences in composition were observed between the diet of adults and chicks over the course of the breeding season for both percent abundance ($G = 14.51$; degrees of freedom = 3; $p < 0.005$) and percent frequency of occurrence of the main four prey species ($G = 70.28$; $df = 3$; $p < 0.001$) (Fig 2a, b). The most abundant (Fig 2a) and frequently occurring (Fig 2b) prey species in adult diet throughout the season were suckers and fallfish, while chicks were mostly fed with fallfish and brook char. Brook char made up only 1.2% of total prey items in the adult diet, but the percentage was higher in chick diet, representing 23.0% of prey by number (Fig. 2a). Brook char was the second most frequently occurring prey in the chick diet as nearly one third of all boli collected contained at least one brook char (Fig 2b). By mass, brook char represented 26.2% of the diet of nestlings.

Temporal variation

The four most important prey in cormorant diet showed significant temporal heterogeneity in percent abundance between sampling periods for both pellets ($G = 25.06$; $df = 6$; $p < 0.05$) and boli ($G = 14.51$; $df = 3$; $p < 0.005$) (Fig. 3a, c). However, adult diet was basically the same throughout the breeding season when expressed as percent frequency of occurrence ($G = 5.97$; $df = 6$; $p > 0.05$), even though brook char was absent from the diet in period 3 (Fig 3b). Suckers were the most abundant prey for adults and were represented in constant proportions across the season (36.0% -38.8%) (Fig 3a). The variability in the proportions of other prey species must then have influenced the results of the G test when considering percent abundance. Indeed, fallfish increased by

more than 10% from periods 2 to 3 (Fig 3a). Juvenile diet appeared temporally heterogeneous when comparing sampling periods 2 and 3 for both percent abundance ($G = 14.51$; $df = 3$; $p < 0.005$) and percent frequency of occurrence ($G = 7.857$; $df = 3$; $p < 0.05$) (Fig 3c, d), the proportions of prey in the diet of juveniles being much more variable temporally than for adults. Suckers abundance doubled, while fallfish and brook char abundance decreased by approximately 10% between periods 2 and 3 (Fig 3c).

Prey size

We estimated original length and fresh mass of 927 fish found in pellets and 198 fish from boli using species-specific regression equations relating bone structure length or peduncle height to total length and fresh prey mass. Prey from pellets were generally smaller than those found in boli (ANOVA; $F = 180.114$; $df = 1, 1123$; $p < 0.001$; Fig 4). Mean prey length was 104.6 mm (standard deviation = 35.6; $n = 927$) and 153.6 mm (s.d. = 62.6; $n = 198$) for pellets and boli, respectively. With the exception of brook char, size of prey from pellets showed a temporal pattern where size decreased from sampling period 1 through periods 2 and 3 (ANOVA; $F = 18.433$; $df = 2, 924$; $p < 0.001$) (Fig 5a). Prey from boli were also significantly smaller in sampling period 3 than in sampling period 2 (ANOVA; $F = 7.015$; $df = 1, 196$; $p < 0.01$) (Fig 5b). Considering all sampling periods, yellow perch was the smallest prey ingested by adult cormorants (ANOVA; $F = 70.357$; $df = 3, 923$; $p < 0.001$; Bonferroni post hoc test; $p = 0.069$ for a comparison with the three other species), all other prey being equal in length (Bonferroni post hoc test; $p > 0.718$). For boli, fallfish and perch were significantly smaller than brook char and suckers (ANOVA; $F = 43.886$; $df = 3, 194$; $p < 0.001$; Bonferroni post hoc test; $p < 0.05$ for a

comparison with the two other species) (Fig 5b). Brook char in boli ($n = 21$) had a mean length of 228.7 mm (range 138-403 mm), and a mean fresh mass of 143.6 g (range 24.6-671.8 g) (Fig 6).

Predation on brook char

Brook char made up 26.2% of the diet, by biomass, of nestling cormorants during sampling periods 2 and 3. Using Fowle's (1997) estimated value of $0.327 \text{ kg} \cdot \text{bird}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ for average nestling daily consumption (C) yielded an estimated total brook char consumption by this group of birds of 1186 kg ($0.262 \cdot 0.327 \text{ kg} \cdot \text{bird}^{-1} \cdot \text{d}^{-1} \cdot 13844 \text{ bird} \cdot \text{d}^{-1}$) for 2003. Predation on char on a per lake area basis was highly sensitive to the assumed foraging radius of adults (Fig 7) with P ranging approximately between 0.1 and $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ over a range of foraging radii between 8 and 20 km. Increasing the value of C from 0.300 to $0.500 \text{ kg} \cdot \text{bird}^{-1}$ simply increased predation pressure independently of foraging radius. Median recorded angler harvest was $0.63 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ for lakes and rivers in the vicinity of the study area (Fig 8). Thus, depending on the values of C and r used in the calculations, cormorant predation pressure on brook char may represent a variable but non negligible quantity in comparison to long-term angler harvesting rate of lakes in the region.

Discussion

The diet of double-crested cormorant has been described in a number of studies throughout North America. Data from these studies, generally designed to elucidate conflicts between humans and cormorants for a particular valuable fish species,

highlighted the fact that cormorants are very opportunistic and can feed on a great number of prey items, mainly fish (e.g. Craven and Lev 1987; Campo et al. 1993; VanDe Valk et al. 2002). Present results from the Steamboat Island colony showed limited number of prey species in both adult and nestling diet, reflecting low fish diversity in lakes and rivers surrounding the colony. The bulk of cormorant diet consisted of four fish species widespread within the region: suckers, fallfish, yellow perch and brook char. While suckers and fallfish are found in most of the water bodies of the region, brook char and yellow perch are rarely sympatric within a single lake. The closest lake containing yellow perch is located 8.5 km from the colony, suggesting this distance as a minimum for the feeding range of the birds. High percentage of occurrence (i.e., the percentage of individual pellets in which each fish species was recorded) of suckers (70.6%) and fallfish (54.8%) in pellets compared to char (7.1%) and perch (30.2%) also likely reflects their higher availability in the region since these very common species are found in sympatry with char and yellow perch and are therefore potentially available as prey during every cormorant feeding trip.

Adults vs. chicks

There was a much greater proportion of char in the diet of chicks than adults. This difference might be explained by a differential digestion of brook char otoliths in cormorant stomachs, which, however, has never been reported in literature to our knowledge. Otoliths from smaller fish are often underrepresented in pellets as a result of their differential digestion rate (Johnstone et al. 1990; Carrs and Marquiss 1997). However, we observed that brook char otoliths were not smaller than sucker and fallfish

otoliths, two species for which we recovered otoliths in great numbers. Hence, there is little evidence here that small brook char were underrepresented in adult diet based on regurgitated pellets. A second possibility is that adults selectively capture and feed char to their young. Harris and Wanless (1993) have shown that adult shags (*Phalacrocorax aristotelis*) fed their chicks with higher energy prey than what they ate themselves. The spatial distribution of the different prey species in our study area may also play a role in diet composition as large lakes in the immediate vicinity of the colony contain char rather than perch. The greater proportion of char fed to nestlings may reflect the propensity of adults to travel shorter distances when delivering prey back to their nest. Reduced travel time associated with feeding in char lakes nearer to Steamboat Island may therefore maximize profitability (energy gain minus cost) to cormorants during the breeding season.

Temporal variation in diet

Several studies have reported substantial temporal variation in cormorant diet over both short and long periods of time (Blackwell et al. 1995; Rail and Chapdelaine 1998; Johnson et al. 2002), and stressed its importance in drawing an accurate picture of diet in order to further estimate the impact of cormorant predation on fish communities. For adults, we report here significant but relatively small temporal variation in the diet with comparable co-occurrence of all major prey species encountered throughout the breeding period. Suckers, found in constant proportion throughout the season as the main prey item, are commonly the most important species in biomass when living in sympatry with brook char (Brodeur et al. 2001) and this might explain the high percentage of abundance

of these prey in the diet of adult birds. Nestling diet appeared much more variable between sampling periods 2 and 3, mostly due to an increase in predation of sucker, suggesting a change in feeding preference or foraging areas adopted by adults to feed their chicks over the course of the rearing period.

Prey size

Sizes of fish captured by cormorants in our study fell within the range published in other studies (Hobson et al. 1989; Campo et al. 1993; Neuman et al. 1997). Prey size estimated from boli was larger than that estimated from pellets, suggesting that adult cormorants fed their offspring with larger prey than those captured for their own needs. However, this result may be questioned as discrepancies between prey size estimated from analysis of pellets and boli have been suggested to be simply the result of greater erosion in structures recovered from pellets (Carss 1997; Wires et al. 2001). Thus, results from pellets may be reliable for qualitative evaluation of diet composition, but may prove biased for quantitative analyses. In both adult and nestling diet, size of suckers, fallfish and yellow perch significantly decreased from the beginning to the end of the breeding season. These smaller size classes (mean length 78-107 mm in pellets) captured later in the season by cormorants may represent individual fish from a cohort that was initially too small for predation by cormorants in the spring and that is now entering this preferred size class. Thus, in our study area, cormorants may shift to eating younger size classes of suckers, fallfish and yellow perch in late summer.

Predation on brook char

Cormorants and anglers are top piscivores in lakes where they co-occur (VanDe Valk et al. 2002). Competition between those two predators for valuable fish species such as brook char should either be documented as such or be refuted with robust data before any cormorant population management measures are considered. Conflicts between cormorants and anglers may be first defined as overlap in the size or age structure of brook char captured by each predator. In the Province of Quebec, catch of any size of brook char is allowed and small brook char are often caught in streams. Consequently, all brook char consumed by cormorants were of sizes available to anglers, perhaps leading to conflicts. More realistically, brook char over 200 mm in length are likely considered by anglers to be a desirable fish to keep (pers. obs.) and our results showed that 75% of the char fed to nestlings were greater than this preferred size.

Predation pressure on brook char in the vicinity of Steamboat Island was estimated from nestling diet, as brook char represented an important fraction of total prey biomass in diets of nestlings (26.2%) but not adults (1.5%). Total brook char consumption by nestling cormorants was estimated at 1186 kg for 2003. Using a mean daily food intake of $0.450\text{--}0.580 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ for adults (Dunn 1975; Glahn and Brugger 1995; Fowle 1997) the same estimation made for adults would lead to a small addition of $135\text{--}175 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$.

Our simulation has shown that estimates of predation pressure expressed on a char lake area basis are very sensitive to variation in the home range considered in the calculations. Our study did not involve the tracking of marked birds to determine the distance of foraging flights, so we had to make calculations based on values determined

from the literature. The lowest recorded mean distance of foraging flights made by double-crested cormorants were of 2.0-2.4 km from two nesting areas located on Lake Michigan (Custer and Bunck 1992). However, those values would not be reliable for our study area, as indicated by the minimum distance of 8.5 km which has to be travelled to attain lakes supporting yellow perch, one of the most abundant prey species noted in the cormorant diet. A radius of 12.5 km, based on mean foraging distances determined for male and female double-crested cormorants nesting on the Columbia River estuary in Oregon (Anderson et al. 2004) would appear more realistic. This distance must however be considered as a minimum because the estuary where this study was carried out is likely to be a productive environment where birds would have access to a very abundant resource. Low availability of resources in oligotrophic lakes typical of the Canadian Shield might induce greater flight distances in order for cormorants to meet their energetic requirements. A foraging distance of approximately 20 km, as suggested by other studies (Hobson et al. 1989; Edwards and Stewart 2002) might thus be more adequate to use for the determination of lake and river area available around the Steamboat Island colony. Thus, average foraging distance from the colony is likely to vary up to 20 km, perhaps more, and determination of predation pressure per char lake area will inevitably vary according to the value of this important unknown parameter.

Moreover, as the area and resource distribution surrounding the Steamboat Island colony is patchy, all lakes and rivers may not offer comparable feeding conditions and cormorants may consequently utilise lakes and rivers of higher resource abundance and exploit the area following an ideal free distribution which describes the equilibrium distribution of populations between habitats or patches, with respect to resource

availability (Bernstein et al. 1991). Following this concept, more consumers settle in areas of higher resource density and, at equilibrium, consumers in all areas experience the same rate of resource acquisition (i.e. no individual could improve its rate by moving to another patch). Future measurements of fish abundance in lakes and rivers in the vicinity of the colony and cormorant movement by telemetry will help testing this hypothesis.

Because no estimates of population size, total biomass or annual productivity of fish were available for brook char in our study area, the impact of cormorant predation on fisheries cannot be clearly assessed. On the other hand, we possess data on brook char fishing yield for several lakes and rivers from the general vicinity of the colony, including Lake Wayagamac, which can be compared to cormorant predation pressure. Our estimates of cormorant predation on brook char (0.1 to $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ for 8-20 km foraging radii) were in the same order of magnitude as median angler harvest ($0.63 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$; range: 0.01 - $16.4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, values higher than $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ being typically associated to stocking), assuming that cormorant predation pressure is uniform within the studied area. Therefore a lack of consideration of the parallel exploitation of char by cormorants, especially in the lakes with low char yield, may lead to important underestimates of total harvest in these lakes. This could then result in char stock overexploitation since total yearly permitted catch on individual lakes are often adjusted according to historical angling success rather than by annual yields or standing crop.

Positive indirect effect of cormorant on char?

While brook char consumption by nestling cormorants represented more than 25% of the biomass of their diet, other fish species such as suckers and fallfish, known to

compete with brook char (Magnan 1988; Bernatchez and Giroux 1991), were consumed in large quantities, representing 44.3% and 23.9% of the biomass in nestling diet, respectively. Although these species are not only found in brook char lakes, reduction of inter-specific competition in char lakes by this differential predation on competitors could potentially have positive effects on char themselves (*sensu* Campo et al. 1993). Experimental removal of white sucker in sympatric brook char lakes has positive effects on recruitment of all species, including brook char, because of a competitive release (Brodeur et al. 2001). Other compensatory responses of mass removal of white sucker on brook char populations are improved growth and increase in mean size-adjusted fecundity (Brodeur et al. 2001). These responses were observed in lakes where mass removal of white sucker was intense ($14.2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ to $31.3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) but non-recurrent (three consecutive years of removal followed by three years of monitoring the response). Here cormorants could, in the best scenario, harvest approximately $1.6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ of white sucker within a 12.5 km radius from the colony. This lower but constant predation pressure across years on this rough fish species could lead to improved brook char fisheries. On an ecosystem-wide basis, more important effects, such as top-down effects on primary production (Carpenter et al. 1985) could also occur as a result of this new form of piscivory experienced by the fish communities associated with the colonisation of new habitats by cormorants. However in our system, the greatest proportion of fish captured by cormorants was benthic invertebrate feeders rather than piscivores or zooplanktivores, and top-down effects induced by cormorants, if any, may be reflected on the benthic primary producers rather than on the phytoplankton food chain.

Useful information on use of lakes and rivers and foraging behaviour of cormorants from Steamboat Island was difficult to obtain visually as only a few isolated individuals were seen foraging on a limited number of feeding areas away from the colony. Cormorants in these low productivity ecosystems are likely to adopt individual feeding behaviour as opposed to social fishing observed in highly productive habitats (De Nie 1995; Van Eerden and Voslamber 1995; Noordhuis et al. 1997). Monitoring of double-crested cormorant movements with the use of radio-telemetry would help gaining more precision in the estimation of parameters needed for an adequate evaluation of the impacts of these birds on char lakes. This approach would help to (1) define spatial patterns in the intensity of foraging and potential preference for certain lakes and prey species, (2) test if historical angling success, thought to be directly proportional to fish population size, is a predictor of presence of cormorants, and (3) evaluate post-breeding consumption of fish, dispersion and migration chronology after desertion of the colony in September.

Acknowledgments

We thank S. Bouliane, R. McNicoll, L. Breton and C. Vallée for their field and laboratory assistance. We are also grateful to M. Lemieux for providing useful information on lakes and fish communities in the study area and Dr. P. Magnan for utilization of computer facilities. This Project was supported by the Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune and a research group Fonds Québécois de la Recherche sur la Nature et les Technologies (FQRNT) grant to G. Cabana. O. Mathieu

was supported by a postgraduate fellowship from FQRNT. The manuscript also benefited greatly from the comments of two anonymous reviewers.

References

- Alvo, R. 1995. Cormoran à aigrettes. *In* Les oiseaux nicheurs du Québec: Atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional. *Edited by* J. Gauthier and Y. Aubry. Association québécoise des groupes d'ornithologues, Société québécoise de protection des oiseaux, Service canadien de la faune, Environnement Canada, région du Québec, Montréal. pp. 232-235
- Alvo, R., Blomme, C., and Weseloh, D.V. 2002. Double-crested cormorants, *Phalacrocorax auritus*, at inland lakes north of Lake Huron, Ontario. *Can. Field-Nat.* **116**: 359-365.
- Anderson, C.D., Roby, D.D., and Collis, K. 2004. Foraging patterns of male and female double-crested cormorants nesting in the Columbia River Estuary. *Can. J. Zool.* **82**: 541-554.
- Belyea, G.Y., Maruca, S.L., Diana, J.S., Schneeberger, P.J., Scott, S.J., Clark, R.D. Jr., and Ludwig, J.P. 1999. Impact of double-crested cormorant predation on the yellow perch population in Les Cheneaux islands of Michigan. *In* Symposium on double-crested cormorants: population status and management issues in the Midwest. *Edited by* M.E. Tobin. USDA/APHIS Tech. Bull. No. 1879: 47-59. Available at http://www.aphis.usda.gov/ws/nwrc/is/cormorants/without_pics.html.

- Bernatchez, L., and Giroux, M. 1991. Guide des poissons d'eau douce du Québec et leur distribution dans l'est du Canada. Éditions Broquet Inc., L'acadie, Qué.
- Bernstein, C., Kacelnik, A., and Krebs, J.R. 1991. Individual decisions and the distribution of predators in a patchy environment. II. The influence of travel costs and structure of the environment. *J. Anim. Ecol.* **60**: 205-225.
- Blackwell, B.F., Krohn, W.B., and Allen, R.B. 1995. Foods of nestling Double-crested Cormorants in Penobscot Bay, Maine, USA: Temporal and spatial comparisons. *Colon. Waterbirds* **18**: 199-208.
- Brodeur, P., Magnan, P., and Legault, M. 2001. Response of fish communities to different levels of white sucker (*Catostomus commersoni*) biomanipulation in five temperate lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **58**: 1998-2010.
- Campo, J.J., Thompson, B.C., Barron, J.C., Telfair, R.C., II, Durocher, P., and Gutreuter, S. 1993. Diet of double-crested cormorants wintering in Texas. *J. Field Ornitho.* **64**: 135-144.
- Carpenter, S.R., Kitchell, J.F., and Hodgson, J.R. 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity. *BioScience* **35**: 634-639.
- Carss D.N. 1997. Techniques for assessing Cormorant diet and food intake: towards a consensus view. *Suppl. Ric. Biol. Selvaggina* **26**:197-230.
- Carrs, D.N. and Marquiss, M. 1997. The diet of cormorants *Phalacrocorax carbo* in Scottish freshwaters in relation to feeding habitats and fisheries. *Ekol. Pol.* **45**: 207-222.

- Chapdelaine, G., and Bédard, J. 1995. Recent changes in the abundance and distribution of the double-crested cormorant in the St. Lawrence River, Estuary and Gulf, Québec, 1978-1990. *In* The double-crested cormorant: biology, conservation and management. Edited by D.N. Nettleship and D.C. Duffy. Colon. Waterbirds 18 (Spec. Publ. 1): 70-77.
- Craven, S.R., and Lev, E. 1987. Double-crested cormorants in the Apostle Islands, Wisconsin, USA: Population trends, food habits, and fishery depredations. Colon. Waterbirds 10: 64-71.
- Collis, K., Roby, D.D., Craig, D.P., Adamany, S.L., Adkins, J.Y., and Lyons, D.E. 2002. Colony size and diet composition of piscivorous waterbirds on the lower Columbia River: implications for losses of juvenile salmonids to avian predation. Trans. Am. Fish. Soc. 131: 537-550.
- Custer, T.W., and Bunck, C. 1992. Feeding flights of breeding double-crested cormorants at two Wisconsin colonies. J. Field Ornitho. 63: 203-211.
- De Nie, H. 1995. Changes in the inland fish populations in Europe in relation to the increase of the Cormorant *Phalacrocorax carbo sinensis*. Ardea 83: 115-122.
- Desgranges, J.-L., Chapdelaine, G., and Dupuis, P. 1984. Sites de nidification et dynamique des populations du Cormoran à aigrettes au Québec. Can. J. Zool. 62: 1260-1267.
- Dunn, E.H. 1975. Caloric intake of nestling double-crested cormorants. Auk 92:553-565.

- Edwards, P.A., and Stewart, T.J. 2002. Cormorants in the vicinity of Presqu'île Provincial Park at the Bay of Quinte. *In* Lake Ontario Communities and Fisheries: 2001 Annual Report of the Lake Ontario Management Unit. Ontario Ministry of Natural Resources, Picton, Ontario, Canada. Available at http://www.glfc.org/lakecom/loc/mgmt_unit/Index_page0004.htm.
- Fowle, M.R. 1997. Population dynamics, food habits, and bioenergetics of double-crested cormorants in Lake Champlain. Master's thesis. University of Vermont, Burlington.
- Glahn, J. F. and K. E. Brugger. 1995. The impact of double-crested cormorants on the Mississippi Delta catfish industry: a bioenergetics model. *Colon. Waterbirds* 18:168-175.
- Harris, M.P., and Wanless, S. 1993. The diet of shags *Phalacrocorax aristotelis* during the chick-rearing period assessed by three methods. *Bird Study* 40: 135-139.
- Hatch, J.J. 1995. Changing populations of double-crested cormorants. *In* The double-crested cormorant: biology, conservation and management. *Edited by* D.N. Nettleship and D.C. Duffy. *Colon. Waterbirds*, 18 (Spec. Publ. 1): 8-24.
- Hobson, K.A., Knapton, R.W., and Lysack, W. 1989. Population, diet, and reproductive success of double-crested cormorants breeding on Lake Winnipegosis, Manitoba, in 1987. *Colon. Waterbirds*, 12: 191-197.

- Hoyle, J.A., Casselman, J.M., and Schaner, T. 1999. Smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*) population status in eastern Lake Ontario, 1978 to 1998. In Lake Ontario Management Unit: 1998 Annual Report. Ontario Ministry of Natural Resources, Picton, Ontario, Canada. Available at http://www.glfc.org/lakecom/loc/mgmt_unit/Index_page0001.htm.
- Hughes, B., Bruce, J., Ekins, G., and Newson, S. 2000. Movements and distribution of inland breeding cormorants in England. English Nature Research Report No. 360.
- Johnson, J.H., Ross, R.M., and Smith, D.R. 1997. Evidence of secondary consumption of invertebrate prey by double-crested cormorants. *Colon. Waterbirds* 20: 547-551.
- Johnson, J.H., Ross, R.M., McCullough, R.D., and Edmonds, B. 2002. Diet composition and fish consumption of double-crested cormorants from the Little Galloo Island colony of Eastern Lake Ontario in 2001. In Impact of double-crested cormorant predation on smallmouth bass and other fishes of the eastern basin of Lake Ontario. NYSDEC Special Report-March 1, 2002. Available at <http://www.dec.state.ny.us/website/dfwmr/cormorant/tblecont02.html>.
- Johnstone, J.G., Harris, M.P., Wanless, S., and Graves, J.A. 1990. The usefulness of pellets for assessing the diet of adult shags *Phalacrocorax aristotelis*. *Bird Study* 37: 5-11.
- Lindell, L. 1997. Development of the breeding population of cormorants in Sweden, 1992-1995. *Suppl. Ric. Biol. Selvaggina* 26: 23-29.
- Lovvorn, J.R., Yule, D., and Derby, C.E. 1999. Greater predation by double-crested cormorants on cutthroat versus rainbow trout fingerlings stocked in a Wyoming river. *Can. J. Zool.* 77: 1984-1990.

- Madenjian, C.P., and Gabrey, S.W. 1995. Waterbird predation on fish in western Lake Erie: a bioenergetics model application. *Condor*, **97**: 141-153.
- Magnan, P. 1988. Interactions between brook charr, *Salvelinus fontinalis*, and non-salmonid species: ecological shift, morphological shift, and their impact on zooplankton communities. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **45**: 999-1009.
- Modde, T., Wasowicz, A.F., and Hepworth, D.K. 1996. Cormorant and grebe predation on rainbow trout stocked in a Southern Utah reservoir. *North Amer. J. Fisheries Management* **16**: 388-394.
- Neuman, J., Pearl, D.L., Ewins, P.J., Black, R., Weseloh, D.V., Pike, M., and Karwowski, K. 1997. Spatial and temporal variation in the diet of double-crested cormorants (*Phalacrocorax auritus*) breeding on the lower Great Lakes in the early 1990s. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **54**: 1569-1584.
- Noordhuis, R., Marteijn, E.C.L., Noordhuis, R., Dirksen, S., and Boudewijn, T.J. 1997. The trophic role of cormorants *Phalacrocorax carbo* in freshwater ecosystems in the Netherlands during the non-breeding period. *Ekol. Pol.* **45**: 249-262.
- Ottenbacher, M.J., Hepworth, D.K., and Berg, L.N. 1994. Observations on double-crested cormorants (*Phalacrocorax auritus*) at sportfishing waters in southwestern Utah. *Great Basin Nat.* **54**: 272-286.
- Rail, J.-F., and Chapdelaine, G. 1998. Food of double-crested cormorants, *Phalacrocorax auritus*, in the Gulf and Estuary of the St. Lawrence River, Quebec, Canada. *Can. J. Zool.* **76**: 635-643.

- Rudstam, L.G., VanDe Valk, A.J., Adams, C.M., Coleman, J.T.H., Forney, J.L., and Richmond, M.E. 2004. Cormorant predation and the population dynamics of walleye and yellow perch in Oneida Lake. *Ecol. Applications* **14**: 149-163.
- Sellers, R.M., Ekins, G.R., Hughes, B., and Kirby, J.S. 1997. Population development of inland breeding cormorants in Great Britain. *Suppl. Ric. Biol. Selvaggina* **26**: 11-21.
- VanDe Valk, A.J., Adams, C.M., Rudstam, L.G., Forney, J.L., Brooking, T.E., Gerken, M.A., Young, B.P., and Hooper, J.T. 2002. Comparison of angler and cormorant harvest of walleye and yellow perch in Oneida Lake, New York. *Trans. Am. Fish. Soc.* **131**: 27-39.
- van de Walle, E. 1997. Liste annotée des oiseaux de l'Abitibi. Société du Loisir Ornithologique de l'Abitibi, Rouyn-Noranda, Québec.
- Van Eerden, M.R., and Voslamber, B. 1995. Mass fishing by cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis* at Lake IJsselmeer, The Netherlands: a recent and successful adaptation to a turbid environment. *Ardea* **83**: 199-212.
- Weseloh, D.V., and Collier, B. 1995. The rise of the double-crested cormorant on the Great Lakes: winning the war against contaminants. Great Lakes Fact Sheet. Canadian Wildlife Service, Environment Canada and Long Point Observatory. Available at http://www.on.ec.gc.ca/wildlife/factsheets/fs_cormorants-e.html.

- Weseloh, D.V., Ewins, P.J., Struger, J., Mineau, P., Bishop, C.A., Postupalsky, S., and Ludwig, J.P. 1995. Double-crested cormorants of the Great Lakes: Changes in population size, breeding distribution and reproductive output between 1913 and 1991. *In* The double-crested cormorant: biology, conservation and management. *Edited by* D.N. Nettleship and D.C. Duffy. Colon. Waterbirds 18 (Spec. Publ. 1): 48-59.
- Wires, L.R., Cuthbert, F.J., Trexel, D.R., and Joshi, A.R. 2001. Status of the double-crested cormorant (*Phalacrocorax auritus*) in North America. Final Report to USFWS. Available at <http://migratorybirds.fws.gov/issues/cormorant/cormorant.html>.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical analysis. 2nd ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Table 1. Least-squares regression parameters for allometric relationships of the form $\text{Log}_{10} (\text{Total Length (mm)}) = a \text{ Log}_{10} (X) + b$, or $\text{Log}_{10} (\text{Weight (g)}) = c \text{ Log}_{10} (X) + d$. For each regression analysis, the sample size (n) and the coefficient of determination (r^2) are given. X represents structure (Str.) length (mm) for otolith (Ot), cleithrum (C), opercle (Op), pharyngeal arch (Ph), or peduncle height (mm, Pe).

Species	Str.	n	a	b	r^2	c	d	r^2
Suckers	Ot	72	1.26	1.86	0.81	4.02	0.50	0.81
Fallfish	Ot	26	0.24	1.72	0.72	0.71	0.20	0.69
Perch	Ot	34	1.19	1.33	0.87	3.91	-1.28	0.86
Char	Ot	29	1.81	1.55	0.93	5.54	-0.40	0.91
Suckers	C	80	0.92	1.04	0.97	2.96	-2.13	0.98
Fallfish	C	40	0.95	0.99	0.90	2.88	-2.06	0.95
Perch	C	34	0.89	1.00	0.97	2.92	-2.38	0.96
Char	C	27	0.97	1.06	0.99	2.99	-1.93	0.99
Suckers	Op	82	0.77	1.32	0.92	2.48	-1.22	0.92
Fallfish	Op	40	0.96	1.15	0.91	2.89	-1.56	0.95
Perch	Op	33	1.01	1.07	0.95	3.30	-2.15	0.94
Char	Op	30	1.99	1.22	0.98	3.05	-1.41	0.98
Suckers	Ph	82	0.87	1.29	0.94	2.48	-1.22	0.92
Fallfish	Ph	40	0.76	1.38	0.85	2.22	-0.77	0.84
Suckers	Pe	83	0.91	1.25	0.96	2.92	-1.44	0.96
Fallfish	Pe	40	0.72	1.41	0.62	2.30	-0.88	0.71
Perch	Pe	33	0.92	1.28	0.96	3.30	-1.46	0.97

Table 2. Relative abundance and frequency of occurrence of food items in pellets ($n = 126$) and boli ($n = 273$) produced by double-crested cormorants at the Steamboat Island colony in 2003.

Prey species	Relative abundance (%)		Frequency of occurrence (%)	
	Pellet	Bolus	Pellet	Bolus
Suckers	37.0	17.8	70.6	21.2
Fallfish	27.8	39.1	54.8	32.6
Yellow perch	23.7	9.3	30.2	10.2
Brook char	1.2	23.0	7.1	29.3
Rock bass	0.6	0.5	3.2	0.7
Bullhead	0.2	-	1.6	-
Crayfish	0.4	3.2	3.2	4.8
Frog	-	0.5	-	0.7
Unidentified fish species	9.0	6.6	42.8	9.5

Figure caption

Fig. 1. Location of the study area (20 km radius from the colony).

Fig. 2. Cormorant diet composition assessed by pellet (adult diet, $n = 126$ identified fish) and boli (nestling diet, $n = 273$) analysis. Results are shown either as (a) percent abundance or (b) percent frequency of occurrence for suckers (black bar), fallfish (white bar), yellow perch (gray bar), and brook char (hatched bar).

Fig. 3. Seasonal variation of four prey species found in cormorant diet assessed from (a, b) pellets (adult diet, $n = 126$) and (c, d) boli (nestling diet, $n = 273$) collected on the Steamboat Island colony in 2003. Results are shown as percent abundance (a, c) and percent frequency of occurrence (b, d). Species legend is the same as in Fig. 2

Fig. 4. Box plot distribution by length (mm) of major prey species found in cormorant diet assessed by pellet and boli analysis.

Fig. 5. Box plot distribution by mass of four prey species. Results are shown for (a) pellets (adult diet) for sampling periods 1 ($n = 41$), 2 ($n = 52$) and 3 ($n = 33$) and (b) boli (nestling diet) for sampling periods 2 ($n = 206$) and 3 ($n = 67$).

Fig. 6. Distribution of total length of brook char consumed by nestling cormorants ($n = 26$) at Steamboat Island. Data are from regurgitated boli.

Fig. 7. Estimated predation pressure on brook char by cormorant from the Lake Wayagamac colony in 2003 as a function of variation in assumed foraging radius from the colony and average daily ingestion rate. The three lines correspond to ingestion rates of 0.300 (fine line), 0.400 (dashed line), and 0.500 $\text{kg} \cdot \text{bird}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (bold line). The horizontal line corresponds to the median long-term angler harvesting rate for lakes in the vicinity of the colony.

Fig. 8. Distribution of mean yearly brook char harvest by anglers in the vicinity of Lake Wayagamac from 1979 to 2002.

Fig. 1

Mathieu et al.

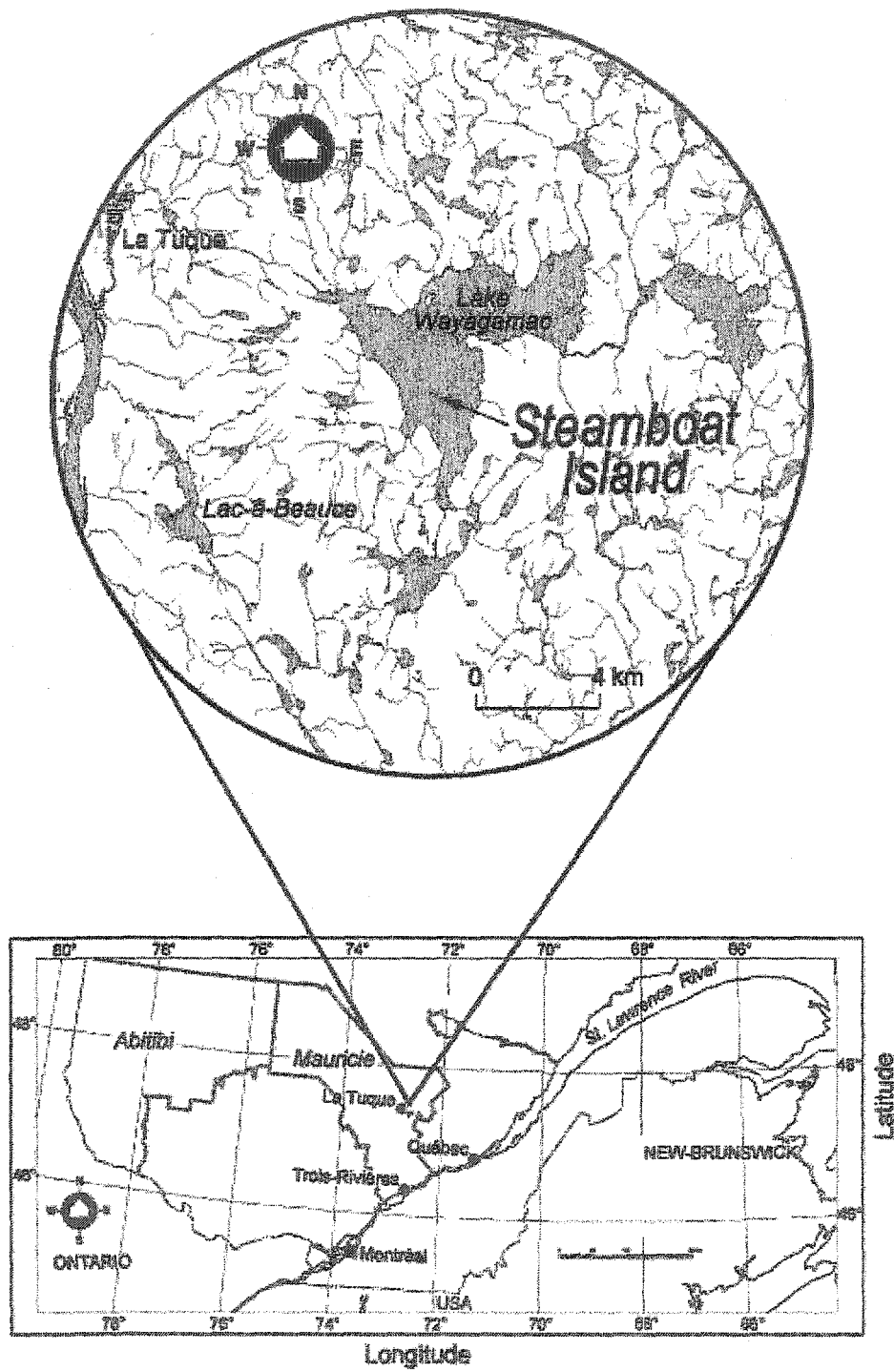


Fig. 2

Mathieu et al.

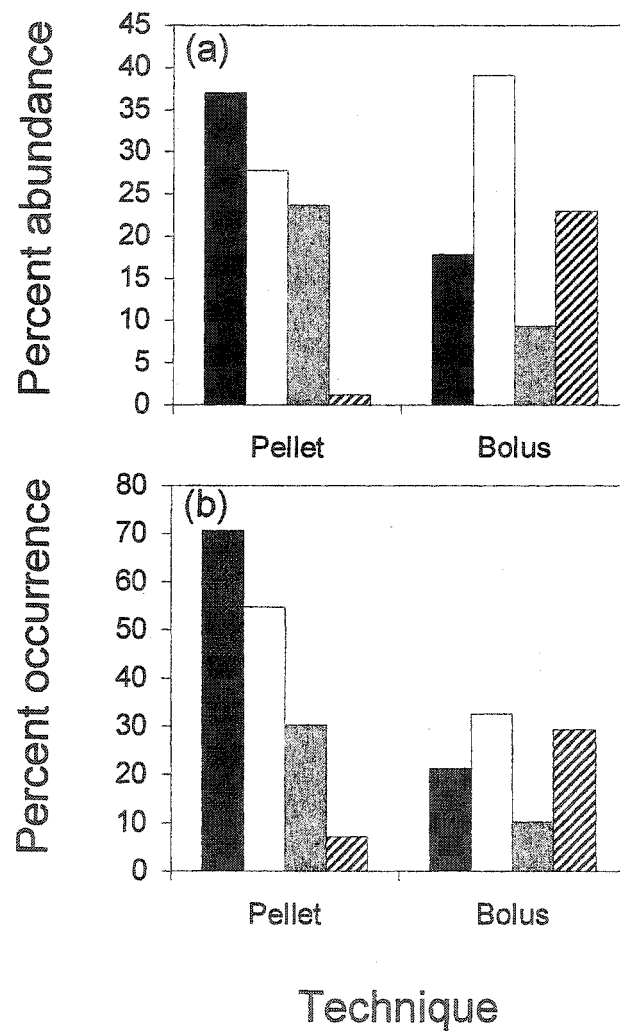


Fig. 3

Mathieu et al.

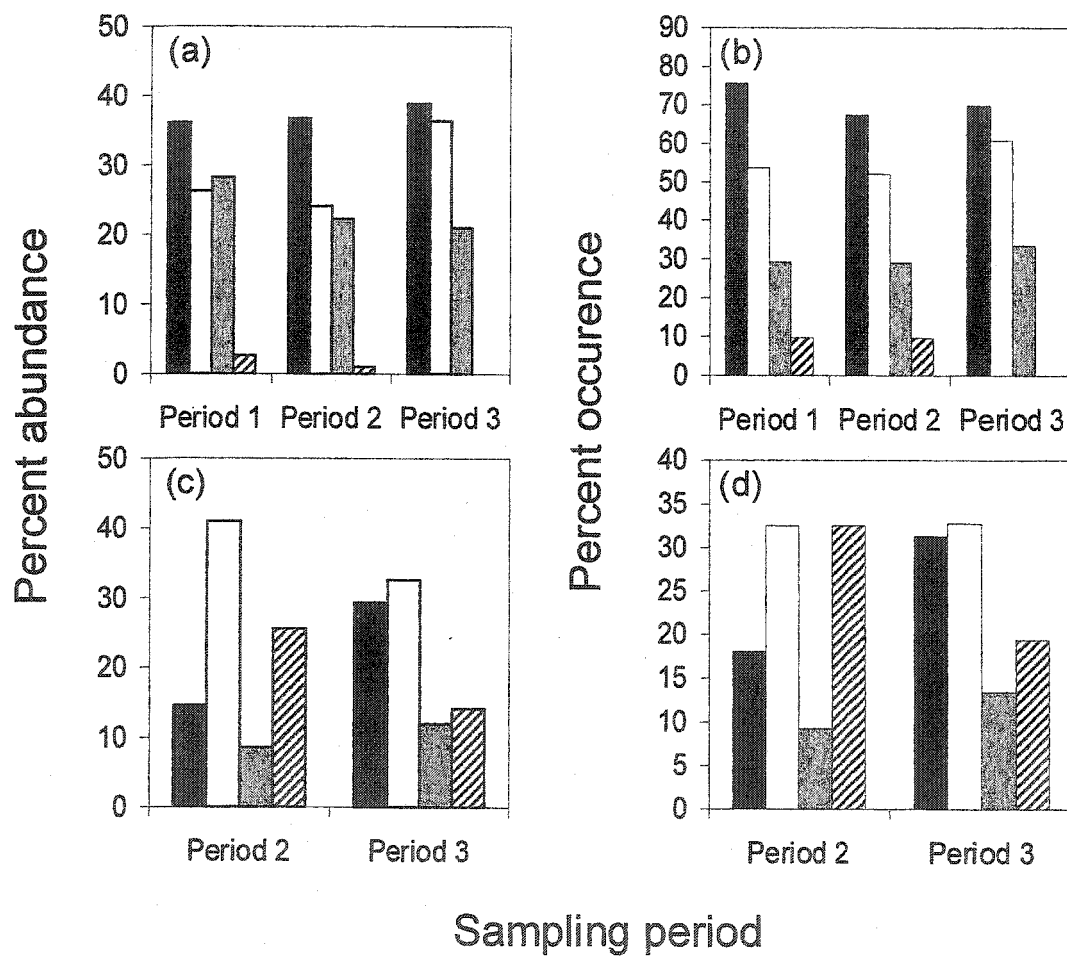


Fig. 4

Mathieu et al.

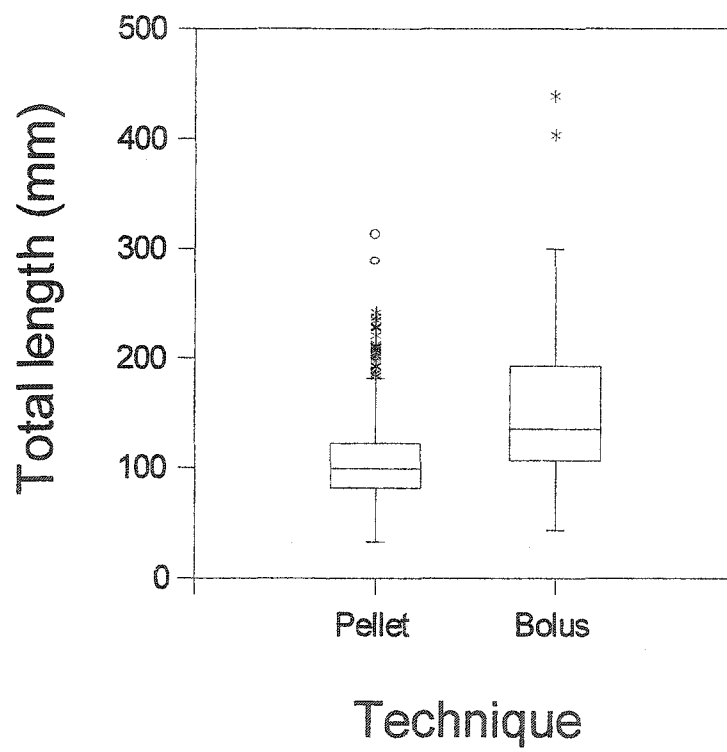


Fig. 5

Mathieu et al.

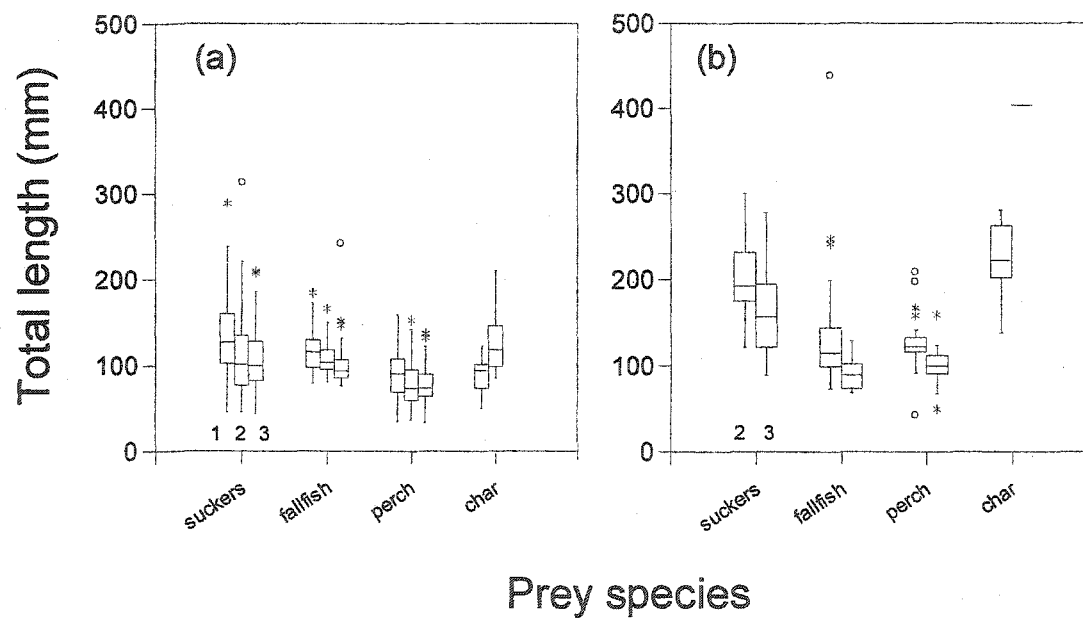


Fig. 6

Mathieu et al.

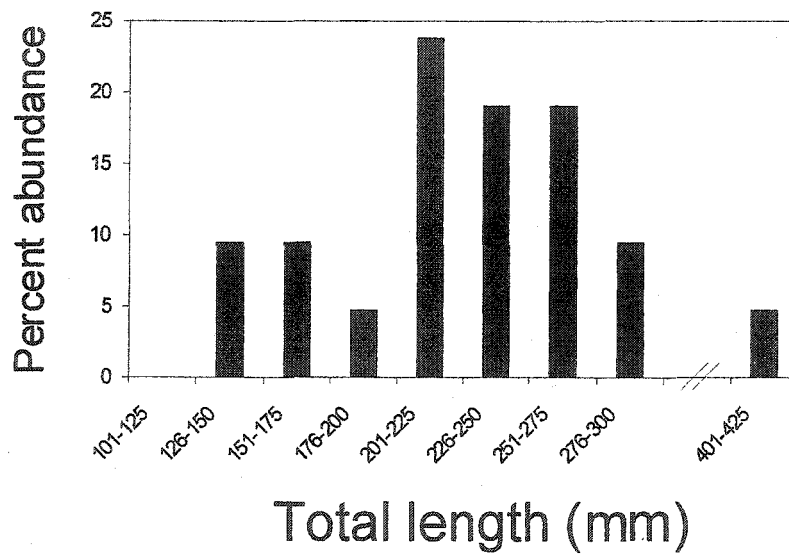


Fig. 7

Mathieu et al.

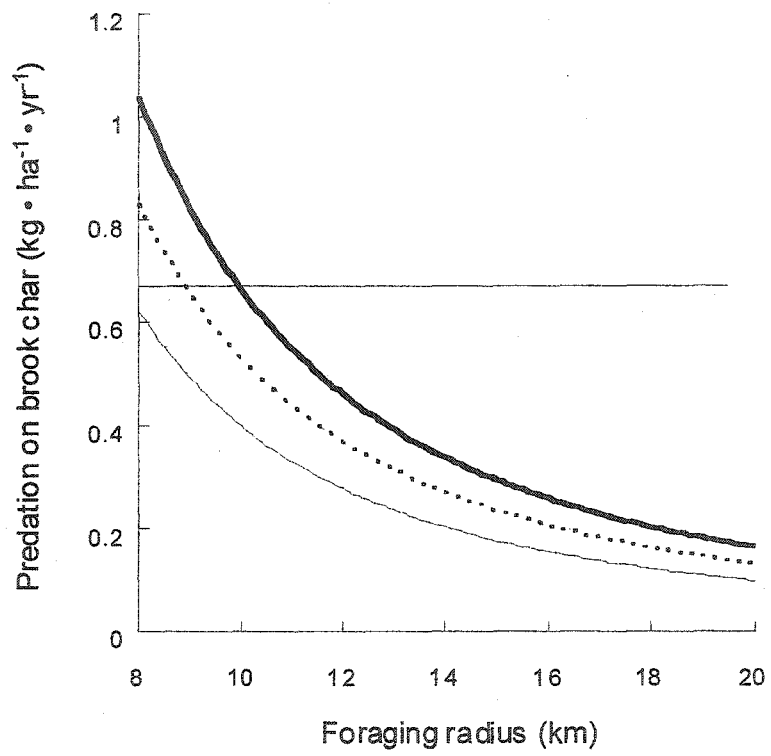
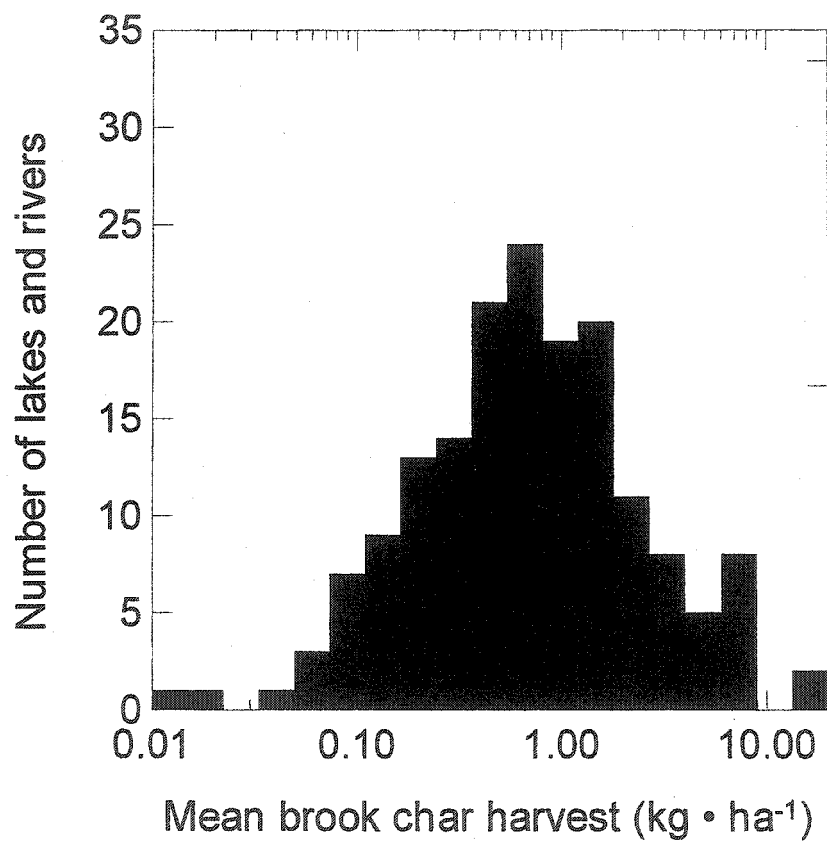


Fig. 8

Mathieu et al.



ANNEXE 1

Preuve de la soumission du manuscrit au *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* et recommandations aux auteurs dudit journal.

Recommandations aux auteurs

La Rédaction encourage la soumission d'articles contribuant à l'enrichissement des connaissances des sciences halieutiques et aquatiques. Les articles peuvent porter sur les cellules, les organismes, les populations, les communautés, les écosystèmes ou les procédés qui affectent les systèmes aquatiques. Ils peuvent traiter de disciplines variées y compris la biologie et l'écologie des organismes d'eau douce et d'eau salée, la limnologie, l'océanographie, la physiologie, la toxicologie, la génétique, l'économie, les maladies et la gestion. Les articles sont choisis selon la portée et l'importance des nouvelles connaissances ou idées qu'ils contiennent. On accorde la préséance aux articles qui contribuent à la compréhension de phénomènes observés et à l'interprétation de résultats expérimentaux.

Nous invitons les auteurs à soumettre des articles ayant des objectifs précis ou relevant des hypothèses, concepts ou questions vérifiables et se terminant par de solides conclusions ou d'utiles synthèses. Ces articles enrichissent, changent, mettent en question ou réorientent les connaissances acquises sur divers aspects des sciences aquatiques. **La raison d'être de l'analyse et l'interprétation des résultats doivent être situées dans un vaste contexte disciplinaire ou interdisciplinaire.** Les articles de méthodologie et de modélisation doivent inclure des applications et prouver la supériorité de la méthodologie ou du modèle explicité.

La Rédaction décourage la soumission d'articles simplement descriptifs (à moins qu'il ne s'agisse de nouvelles disciplines), d'application très limitée (applicable à une seule année, une seule région ou un seul taxon, portant sur un unique composé chimique, etc.); d'articles qui ne font que reprendre les principes énoncés dans des articles précédents; et d'articles rendant compte de l'application de normes sans gain de méthodologie. Les études préliminaires ou fragmentaires, ou dont la pertinence à grande échelle n'est pas démontrée, et les interprétations purement spéculatives sont carrément rejetées.

Les articles doivent être aussi complets que possible. S'il est impossible d'inclure toutes les données pertinentes dans un seul article, l'auteur devra inclure des renvois à des articles connexes et soumettre ceux-ci avec son propre article.

Le Journal publie le genre de textes suivants :

Articles — Études de vaste portée qui constituent de nouvelles contributions à la science.

Perspectives — Synthèses, synthèses critiques ou ré-évaluations de concepts ou de paradigmes couramment admis.

Discussions — Commentaire ou réponse sur des sujets récemment abordés dans le Journal.

Communications rapides — Présentations de nouveaux concepts, descriptions de nouvelles méthodologies ou courts textes sur des sujets d'actualité ou controversés.

On peut obtenir les caractéristiques précises de chacun de

Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques

ces genres sur le site Web du Bureau de la rédaction <http://www.uoguelph.ca/~cjfas/>.

Processus de publication

La Rédaction encourage les auteurs à soumettre leurs manuscrits par courriel à cjfas@uoguelph.ca en format Word, WordPerfect ou PDF. Pour obtenir de plus amples renseignements sur la soumission électronique, y compris les formats de fichier acceptés, communiquez directement avec la Rédaction.

Si vous optez pour la soumission par courrier, vous devez soumettre les manuscrits (en triple) à la directrice scientifique principale, *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, University of Guelph, Département de zoologie, édifice 006, bureau 107, Guelph, ON N1G 2W1, Canada. Veuillez inclure le texte, les tableaux et les figures du manuscrit sur disquette, en précisant le(s) progiciel(s) et la (les) version(s) utilisés; le logiciel de traitement de textes préférés est Microsoft Word pour l'examen par les réviseurs. **Les manuscrits et les illustrations doivent être solidement emballés afin d'être protégés lors de l'expédition.**

Nous encourageons la soumission d'articles brefs, de style clair. Nous accepterons d'examiner les manuscrits plus longs si leur importance et leur interprétation de nouvelles connaissances en justifient la longueur.

Tous les manuscrits doivent être accompagnés d'une lettre qui fait état (1) des principaux points et de l'importance du travail, (2) de la participation de tous les auteurs au manuscrit et de leur approbation de ce dernier, (3) de l'assurance que le manuscrit en question n'est pas en cours d'examen aux fins de publication dans une autre revue, (4) de suggestions quant aux arbitres éventuels, (5) d'autres manuscrits, y compris de résumés détaillés, contenant une information identique ou similaire à celle contenue dans le manuscrit soumis et (6) des numéros de téléphone et de télécopieur ainsi que du courriel et de l'adresse de chaque auteur. L'auteur devra, de préférence, conserver les originaux du texte dactylographié et des figures (sauf les demi-teintes) jusqu'à ce qu'on les lui demande.

La directrice scientifique principale reconnaît la possibilité que des conflits d'intérêts réels ou perçus surviennent à la suite de circonstances intellectuelles, personnelles ou financières liées aux travaux de recherche. Or, les manuscrits devraient inclure une divulgation de toute source de financement de la recherche. De plus, la lettre de transmission devrait comprendre une explication de tout conflit d'intérêts, réel ou perçu, qui pourrait survenir lors du processus d'examen par les pairs. Si de tels conflits ne sont pas divulgués, le manuscrit pourrait être refusé.

Chaque article est habituellement soumis à une évaluation par au moins deux réviseurs. Toutefois, la directrice scientifique principale renverra sans les évaluer tout article qui ne re-

fiète pas la portée ou le caractère du Journal et les articles qui débordent des limites imposées pour la publication sous forme de « résumés approfondis ». On obtiendra les directives à cet égard sur le site Web du Bureau de la rédaction. Les articles soumis aux fins de publication dans un supplément sont soumis au même rigoureux exercice d'examen que les articles des numéros réguliers.

On demande habituellement aux auteurs d'examiner les commentaires des réviseurs et de modifier leur texte en conséquence en 90 jours, tout au plus. Faute de respecter ce délai, l'article renvoyé par l'auteur sera traité comme une nouvelle soumission à moins que l'auteur n'ait au préalable dûment communiqué avec le Bureau de la rédaction.

Droits de reproduction — Lorsqu'un article contient de la documentation (tableaux, figures, schémas, etc.) déjà publiée, il incombe à l'auteur d'obtenir une **permission écrite du titulaire de ces droits d'auteur** pour permettre la reproduction de l'information en format imprimé et électronique. La lettre d'autorisation doit accompagner le manuscrit soumis, sans quoi le processus de publication pourra être retardé. Cette lettre sera exigée avec toute mention du type « Tirée de... ». Si une illustration est modifiée, de sorte qu'une telle autorisation n'est pas requise, la formulation doit être explicite : « Modifiée d'après... ». Si l'illustration est reconstituée à partir d'informations tirées d'autres auteurs la mention doit être du même type que pour une référence.

Soumission de la version approuvée — Les auteurs sont priés de soumettre une **copie imprimée ainsi qu'une copie sur disquette de la version approuvée de l'article seulement**. Les fichiers de texte et les fichiers d'illustrations devront être soumis sur des disquettes distinctes. Le nom des auteurs doit être indiqué clairement sur chaque disquette soumise. Le **texte** (y compris les tableaux) devrait être soumis en format de traitement de texte (WordPerfect, Microsoft Word ou TeX est préférable, compatible à IBM ou Macintosh). Les macros en TeX et la documentation pour la préparation des soumissions sont maintenant disponibles à [ftp://ftp.tex.ac.uk/tex-archive/macros/latex/contrib/nrc/](http://ftp.tex.ac.uk/tex-archive/macros/latex/contrib/nrc/), [ftp://ftp.dante.de/tex-archive/macros/latex/contrib/nrc/](http://ftp.dante.de/tex-archive/macros/latex/contrib/nrc/) et [ftp://ctan.tug.org/tex-archive/macros/latex/contrib/nrc/](http://ctan.tug.org/tex-archive/macros/latex/contrib/nrc/). Il importe d'indiquer le logiciel de traitement de texte utilisé, la version, de même que le type d'ordinateur (IBM ou Macintosh). En ce qui a trait aux **illustrations**, il convient de se reporter à la section « Préparation des fichiers électroniques des illustrations ». Tout article devra être accompagné d'une lettre faisant foi du fait que la version du texte sur disquette reflète exactement la version imprimée soumise.

Épreuves en placard — Une épreuve en placard, des épreuves des illustrations, une copie de l'article corrigé et un bon de commande de tirés à part sont envoyés à l'auteur correspondant. **Les épreuves en placard doivent être relues attentivement car elles ne sont pas corrigées par les Presses scientifiques du CNRC.** Elles doivent en outre être retournées dans les 48 h suivant leur réception. Au stade des épreuves, il n'est plus temps d'apporter des modifications importantes ni de faire des ajouts ou des suppressions. Les frais occasionnés par des modifications excessives devront être assumés par les auteurs.

Tirés à part — Pour obtenir des tirés à part, il est nécessaire de remplir le bon de commande à cet effet et de le retourner avec le paiement (chèque, numéro de carte de crédit, numéro du bon d'achat ou pièce de journal interne) en même temps que les épreuves et l'article corrigés. Le tarif des tirés à part commandés après la parution du numéro du Journal est fortement majoré. **Le Journal n'offre pas de tirés à part gratuits; ceux-ci ne sont postés qu'après réception d'un numéro du bon d'achat ou du paiement.**

Transfert des droits d'auteur — Tous les auteurs doivent compléter un formulaire de transfert des droits d'auteur au CNRC. On obtiendra ces formulaires auprès de la directrice scientifique principale, dans le premier numéro de chaque volume ou sur le site Web des Presses scientifiques du CNRC.

Toute **permission de republication** partielle ou intégrale d'un article doit être obtenue auprès des Presses scientifiques du CNRC.

Préparation des manuscrits

Directives générales

Le processus de publication sera grandement facilité si les articles sont préparés conformément au style du Journal.

Dactylographiez le manuscrit sur papier blanc (21,6 sur 27,9 cm (8,5 sur 11 po)) sur un côté de la page. Laissez toujours une marge d'au moins 2,5 cm (1 po). Sur la première page, dactylographiez le titre, les noms et affiliations des auteurs et les renvois qui s'y rapportent. Numérotez toutes les pages, à commencer par la page-titre, de même que celles contenant les tableaux et les légendes des illustrations. Tout le manuscrit, y compris tableaux, légendes des tableaux et des figures, renvois et liste de références, doit être dactylographié à **double interligne**. N'utiliser l'italique que pour les passages qui doivent paraître en italique dans le document final. En aucun endroit du manuscrit n'écrivez entièrement en majuscules. Pour les références citées dans le texte, utilisez le système nom et année.

Dispositions générales

L'orthographe doit suivre *Le Grand Robert*. Les accents doivent être insérés sur les majuscules. Les auteurs sont responsables de l'uniformité de l'orthographe.

Le *CBE Manual for Authors, Editors, and Publishers: Scientific Style and Format* (6^e éd., 1994, Council of Biology Editors, Inc., Chicago, IL 60603, É.-U.) sert de guide quant à la forme de la présentation. Les titres de périodiques sont abrégés suivant *BIOSIS® Serial Sources* (BIOSIS, 2100 rue Arch, Philadelphia, PA 19103-1399, É.-U.). C'est la responsabilité des auteurs de s'assurer que leurs références sont complètes et exactes. Pour les noms de poissons et leur orthographe, le Journal suit les recommandations contenues dans *A List of Common and Scientific Names of Fishes from the United States and Canada* (5^e éd., 1991, Spec. Publ. No. 20, American Fisheries Society). Pour la nomenclature génétique pour les locus de codage des protéines, le Journal suit les recommandations contenues dans Shaklee et al. (1990, Trans. Am. Fish. Soc. 119 : 2-15). Il est recommandé de se servir du **Système international d'unités** ou, tout au moins, de fournir les équivalences en unités SI. Ce système est décrit dans le *Guide de familiarisation au système métrique*, publié en 2002 par l'Association canadienne de normalisation (5060 Spectrum Way, bureau 100, Mississauga, ON L4W 5N6, Canada). Pour des raisons pratiques, on permet certaines exceptions à l'utilisation du Système international d'unités (comme dans un éditorial du Journal, vol. 40, n° 12).

Liste de contrôle pour manuscrits

Une attention particulière aux questions suivantes facilitera l'évaluation des manuscrits par les arbitres et les rédacteurs.

Les découvertes, interprétations et conclusions sont-elles bien documentées et pertinentes aux buts de l'étude?

Les tableaux et figures sont-ils tous nécessaires et agencés pour faciliter les comparaisons? Y a-t-il contradiction entre les tableaux ou les figures et le texte, ou à l'intérieur du texte? Est-ce que certaines données devraient être présentées

séparément dans un rapport manuscrit ou dans un dépôt de données?

Si une analyse statistique est effectuée, la statistique cède-t-elle le pas à la recherche? Dans des énoncés de probabilité, les tableaux statistiques inutiles sont-ils exclus et seulement les tests statistiques cités?

Le texte gagnerait-il en clarté s'il était plus condensé, en tout ou en partie? Contient-il des exposés sommaires au début de chaque section ou paragraphe, et les détails de ces sections et paragraphes sont-ils pertinents au sujet traité? La marche du manuscrit est-elle conforme à la logique énoncée dans l'introduction?

Le titre est-il représentatif du contenu du rapport? Le **Résumé** donne-t-il l'essentiel des connaissances nouvelles? L'**Introduction** se limite-t-elle à une esquisse de la portée, du but et des raisons de l'étude? La revue de la littérature se limite-t-elle à la définition du problème? La section **Matériel et méthodes** contient-elle le minimum de détails qui permettront aux lecteurs de saisir les grandes lignes de l'étude et de juger de la valeur des données? Les généralisations sur les **Résultats** sont-elles adéquates? Permettent-elles de distinguer entre constatations et déductions? La **Discussion** est-elle limitée à l'interprétation et à l'évaluation des découvertes?

Sont énumérés, ci-dessous, des façons d'éviter les problèmes techniques les plus communs dans la soumission des manuscrits. En accordant une attention particulière à ces points lors de la préparation de leurs manuscrits, les auteurs peuvent accélérer le traitement des articles.

- (1) Limiter le résumé à un paragraphe d'environ 175 mots.
- (2) Dactylographier à double interligne tous les éléments du manuscrit, y compris la bibliographie et les légendes des tableaux et des figures.
- (3) Éviter partout l'emploi exclusif de majuscules, y compris dans les en-têtes et les légendes des tableaux et des figures.
- (4) Ne composer en italique que les noms latins d'organismes et certaines notations statistiques et mathématiques qui devront être imprimés en italique.
- (5) Dans les figures, les tableaux et le texte, exprimer les unités de mesure par leurs symboles SI propres. Pour les nombres inférieurs à l'unité, placer un zéro avant la virgule décimale.
- (6) Éviter les formes ambiguës, telles que $g\ C/m^2/jour$; utiliser plutôt $g\ C\cdot m^{-2}\cdot jour^{-1}$.
- (7) Identifier le test qui a servi à évaluer la signification statistique, donnant également la valeur de probabilité. S'il s'agit de tests communs, il n'est pas nécessaire d'en donner la référence.
- (8) Dans le texte, généraliser à partir des tableaux et des figures; éviter une répétition de tous les détails. S'assurer que tous les tableaux et figures sont indépendants et mentionnés dans le texte dans l'ordre numérique. Les légendes doivent indiquer le but du tableau ou de la figure.
- (9) Préparer la section des remerciements au stade du manuscrit et non à celui des épreuves.
- (10) En référant à des communications personnelles, donner les initiales et l'adresse postale de la personne en cause.
- (11) Éliminer toutes références qui ne s'appliquent pas directement au problème.
- (12) Vérifier soigneusement la correspondance des références en regard des citations dans le texte et vice versa. Dans le cas de matériel difficilement accessible, indiquer l'endroit où le trouver (p. ex., disponible auprès du Département de biologie, Université Laval, Sainte-Foy, QC G1K 7P4, Canada).
- (13) Éliminer les virgules entre le nom et la date dans les citations telles que (Smith 1990) et ne pas souligner ni mettre en italique « et al. ».
- (14) Aux fins de la révision, les photocopies des figures, sauf pour les demi-teintes, sont appropriées. Sur demande, lorsqu'il s'agira de publier l'article, envoyer des photographies, des imprimés laser ou les dessins originaux/fichiers électroniques des figures (voir « Illustrations » et « Préparation des fichiers électroniques des illustrations »). Utiliser autant que possible un lettrage uniforme.

Parties du manuscrit

Organisation

Organiser le manuscrit par rapport au but ou à la portée de l'étude, tels qu'énoncés dans l'introduction. Il est particulièrement important que le titre et les sous-titres soient en harmonie avec les objectifs.

Avant de commencer la rédaction du manuscrit, dresser une liste provisoire des sous-titres ou en-têtes, avec le moins de divisions possible. Retoucher les jusqu'à ce qu'ils semblent assurer, pour le lecteur, une marche logique; ordinairement, l'ordre chronologique ne sera pas satisfaisant. Il sera plus facile d'évaluer les résultats si méthodes, résultats et discussion sont décrits dans des sections séparées.

Organiser les tableaux et les figures de façon à faciliter les comparaisons, groupant les données apparentées en aussi peu de tableaux et de figures que possible. S'assurer que ces derniers sont aussi clairs que possible sans référence au texte.

Commencer les sections et les paragraphes par des énoncés généraux qui aboutissent naturellement à des énoncés particuliers. Si la conclusion est donnée d'abord puis appuyée ensuite, non seulement le travail sera plus facile à lire, mais aussi les autres scientifiques pourront plus aisément évaluer les résultats. Dans la rédaction des manuscrits, le défaut le plus commun est d'omettre de donner, au début, les généralités les plus dignes de mention.

Voir à ce que le matériel de chaque section soit pertinent à l'en-tête et que le matériel de chaque paragraphe se rapporte à la première phrase introduisant le sujet.

Avant de rédiger les paragraphes, composer la phrase thème de chaque paragraphe et disposer ces phrases dans l'ordre approprié.

Titre

Limiter le titre à ce que l'étude veut démontrer. C'est la clé de l'article et il devrait refléter clairement et brièvement le contenu de l'étude. Le titre a deux fonctions : (1) il permet au lecteur de juger si, oui ou non, l'article peut avoir un intérêt et (2) il devrait fournir suffisamment d'information pour permettre au lecteur de juger de la portée et de l'importance potentielle de l'article. Les mots du titre devraient fournir un maximum d'information et identifier la nature de la recherche, de l'organisme utilisé et, au besoin, la méthode d'approche technique (p. ex., rayons X, chromatographie, analyse mathématique). Les titres ne devraient pas commencer par un chiffre ou par des prépositions d'introduction telles que « Sur » ou « Vers », ou des expressions telles que « Contribution à... » ou « Recherche sur... ». De bons titres facilitent le classement des publications et leur utilisation par les scientifiques et les bibliothécaires. On évitera les titres en séries.

Résumé

Un résumé doit accompagner chaque texte et exposer brièvement, en 175 mots ou moins, ce qui a été fait, ce qui a été découvert et les conclusions auxquelles on est arrivé. Les auteurs qui peuvent soumettre des résumés dans les deux langues officielles du Canada, c'est-à-dire en français et en anglais courants, sont encouragés à le faire.

Comme le titre, le résumé permet aux lecteurs de prendre connaissance du contenu de l'article et de décider si, oui ou non, il leur faut lire ce dernier en entier. Indiquer, au début du résumé, la principale conclusion de l'étude et l'appuyer par des découvertes pertinentes. Ne donner que les détails des méthodes nécessaires à la compréhension de ce qui a été fait et les insérer dans l'énoncé des découvertes. Éviter l'emploi de phrases telles que « ... on y analyse » ou « ... a été trouvé » ; être plus spécifique. Comme le résumé est souvent séparé du corps principal de l'article par les services d'analyse et de classement, c'est la seule partie d'un travail que certains lecteurs auront l'occasion de voir; il importe donc qu'il reflète précisément le contenu du travail et qu'il soit complet en lui-même (c.-à-d., les références absolument *essentielles* sont indiquées, sous forme retraçable, p. ex., R.B. Deriso. 1980. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37 : 268–282).

Introduction

Limiter l'introduction à la portée, au but et à la raison de l'étude. Ne mentionner que les travaux publiés et autres informations nécessaires à la définition du problème et à la perspective du travail. Commencer avec le but ou la portée du travail, définir ensuite le problème et ajouter ici et là des jalons qui aideront à orienter le lecteur. En général, une introduction n'a pas besoin de dépasser 375–500 mots.

Matériel et méthodes

Cette section renferme ce dont on a besoin pour trouver réponse aux questions soulevées dans les objectifs du travail.

Limiter les renseignements à ce qui est nécessaire pour juger de la validité des découvertes. Cette évaluation sera facilitée si toute l'information est présentée, autant que possible, dans une section. S'il s'agit d'outillage ou de techniques déjà publiés, référer aux publications et ne décrire en détail que les adaptations. Il y a souvent avantage à commencer un énoncé des méthodes par une phrase qui en indique le but, comme : « Afin de déterminer... nous... ». Si la section est longue, utiliser des sous-titres correspondant à ceux de la section des résultats.

Résultats

Limiter les résultats aux réponses apportées aux questions en rapport avec le but de l'étude; que ces réponses soient aussi complètes que possible, tout en étant concises. Exprimer, autant que possible, les découvertes dans les mêmes termes que les observations ou les mesures, évitant ainsi de confondre faits et spéculations. Dégager les généralités des tableaux et des figures et y référer en évitant de répéter dans le texte ce que les légendes devraient exprimer clairement. Le matériel complémentaire au texte peut être classé dans les séries de rapports ou dans un dépôt de données reconnu; et on y référera dans le texte.

Discussion

Limiter la discussion à l'énoncé de la principale contribution de l'étude et à l'interprétation de découvertes particulières, les comparant avec celles d'autres auteurs. On continuera à mettre l'accent sur la synthèse et l'interprétation, ainsi que sur l'exposition de généralisations et de principes largement applicables. S'il s'agit d'exceptions ou de points douteux, les

noter et faire ressortir la manière dont les résultats corroborent ou contredisent les travaux déjà publiés. Limiter la spéculation à ce qui peut être appuyé sur des preuves raisonnables. Terminer cette section par un court résumé de l'importance du travail et des conclusions auxquelles il a conduit. Si la discussion est brève et précise, elle peut être combinée avec les résultats en une seule et même section.

Remerciements

Nous recommandons fortement aux auteurs de limiter les remerciements aux personnes qui ont contribué d'une manière substantielle aux aspects scientifiques et techniques de l'article, fourni une aide financière ou amélioré la qualité de la présentation. Éviter de mentionner les personnes qui n'ont fourni qu'un travail de soutien.

Bibliographie

On choisira les références avec soin, les limitant aux publications importantes. On ne peut citer dans cette section les références à des données inédites, manuscrits en préparation ou soumis à d'autres périodiques, états des travaux et communications inédites présentées à des réunions annuelles. On peut toutefois les mentionner dans le texte à titre de données inédites ou de communications personnelles (incluant les adresses). Si l'on doit citer des rapports d'experts-conseils ou d'autres documents dont la distribution est limitée, on devra préciser l'endroit où l'on peut se les procurer. **On doit s'assurer que les références mentionnées dans le texte correspondent à celles qui sont contenues dans la bibliographie et vice versa.** Presque tous les manuscrits soumis au Journal contiennent des erreurs dans cette section.

Notes intrapaginales

Les notes intrapaginales ne devraient figurer dans le texte que lorsqu'elles sont inévitables, mais leur utilisation dans les tableaux est encouragée. Lorsque les notes intrapaginales figurent dans le texte, leurs appels devraient être désignés par des chiffres arabes en exposant (sauf dans le cas des tableaux, voir ci-dessous) et numérotés consécutivement à partir de la première note intrapaginale, y compris toute note apparaissant en page titre. Chaque note doit figurer au bas de la page où elle est signalée, **pas dans la bibliographie.**

Équations

Les équations doivent être dactylographiées clairement, à triple interligne si elles incluent des exposants ou des indices. Les exposants et les indices doivent être lisibles et correctement placés. Il convient de faire une distinction entre la lettre *i* et le chiffre *un*, et entre la lettre majuscule *O* et le chiffre *zéro*. Une lettre ou un symbole ne devrait représenter qu'une seule entité et devrait être utilisé de façon uniforme dans l'article. Chaque variable doit être définie dans le texte ou dans une **liste des symboles** devant apparaître après la bibliographie. Les variables représentant des vecteurs, des matrices, des matrices vectorielles et des tenseurs doivent être clairement définies. Les numéros d'équation doivent être identifiés par des chiffres arabes placés entre parenthèses et alignés avec la **marge de gauche**. Aucune distinction n'est faite entre la numérotation des formules mathématiques et celle des formules chimiques.

Tableaux

Les tableaux sont utilisés pour présenter des données qui se répètent et devraient occuper le moins d'espace possible. Agencez les tableaux de façon qu'ils s'adaptent soit à une ou deux colonnes du Journal. Dactylographiez chaque tableau

sur une page séparée et numérotez-les en chiffres arabes. Tracez des lignes horizontales de part et d'autre des en-têtes et au-dessous des colonnes, mais rarement ailleurs. N'utilisez jamais de lignes verticales. Laissez plutôt des espaces supplémentaires. Chaque tableau doit avoir une légende instructive, complète et indépendante. Les renvois des tableaux doivent être indiqués par des minuscules suscrites dactylographiées au bas du tableau. Placez les tableaux après la bibliographie. Notez que les *tableaux dans le texte* ne sont pas numérotés et sont dactylographiés dans le corps du texte. Ils ont rarement besoin de lignes horizontales.

Appendices

Les appendices doivent être indiqués de façon séquentielle (p. ex., A, B, C, etc.). Les illustrations et les tableaux en appendice doivent être numérotés différemment des illustrations et des tableaux du corps de l'article (p. ex., figure A1, tableau A1, etc.).

Documentation complémentaire

Le Conseil national de recherches du Canada administre un Dépôt des données non publiées dans lequel la documentation complémentaire peut être versée, à la demande des auteurs ou la directrice scientifique principale. De plus, il est maintenant possible d'accéder à cette documentation dans le format de son fichier d'origine à partir du site Web du Journal. L'accès se fera par le biais d'un hyperlien apparaissant dans la page Web de l'article pertinent. La documentation complémentaire peut comprendre de grands tableaux, des calculs complexes et des cartes détaillées qui ne sont pas essentiels à la compréhension ou à l'évaluation du document. Les auteurs qui désirent utiliser ce service doivent clairement indiquer les parties dont ils demandent le dépôt dès la soumission de leur article. Les tableaux et les figures doivent être numérotés de façon consécutive, distinctement de ceux destinés à la publication (p. ex., figure S1, tableau S1). Toute donnée déposée doit faire l'objet d'une note infrapaginale à la section appropriée du document. Des copies des données déposées peuvent être obtenues contre paiement auprès du Dépôt des données non publiées, ICIST, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, ON K1A 0S2, Canada.

Illustrations

Fournir des photographies, des imprimés laser (les imprimés par imprimante par points sont inacceptables) ou les dessins originaux (pourvu qu'ils ne dépassent pas 27,9 sur 43,2 cm (11 sur 17 po)) de chaque illustration. Transmettre trois copies des illustrations qui serviront au moment de la révision.

Chaque figure ou groupe de figures doit être préparé de manière à occuper, après une réduction appropriée, l'espace d'une ou deux colonnes du texte. Les dimensions finies maximales d'une illustration sur une colonne sont de 8,8 sur 23,9 cm (3,5 sur 9,4 po) et celles d'une illustration sur deux colonnes est de 18,2 sur 23,9 cm (7,2 sur 9,4 po). Les figures (y compris les similigravures) sont numérotées en chiffres arabes selon leur ordre séquentiel et doivent être annoncées dans le texte bien que tous leurs éléments doivent être intelligibles en eux-mêmes. Tous les termes, les abréviations et les symboles qui se trouvent dans les figures doivent être les mêmes que ceux apparaissant dans le texte. Seuls les détails essentiels devraient être identifiés; l'information plus détaillée devrait paraître dans la légende. Chaque illustration doit être identifiée, de préférence au bas, à gauche, par le numéro de la figure et les noms des auteurs, suffisamment éloignés de l'espace réservé à l'illustration.

Les dessins au trait originaux doivent être en encre noire ou produits par ordinateur en encre noire sur du papier blanc de première qualité ou un matériau comparable. Quant aux graphiques produits par ordinateur, il faut fournir un imprimé au laser de la meilleure résolution disponible. **Les photocopies ne sont pas acceptables.**

L'épaisseur des lignes doit être suffisante (au moins 0,5 point) pour que la reproduction soit nette; tous les symboles, les indices supérieurs ou inférieurs et les signes décimaux doivent être en bonne proportion avec le reste du dessin et suffisamment marqués pour permettre la réduction nécessaire sans perte de détail. Ne pas utiliser de petits symboles ouverts qui ont tendance à se refermer lorsqu'ils sont reproduits. **Le lettrage produit par imprimante à matrice de point ou par machine à écrire, ou à la main, ne sont pas acceptables.** Le même style de police et la même dimension de lettrage doivent servir dans toutes les figures de dimensions semblables d'un article.

Les cartes doivent avoir des motifs clairs et gras, et comporter les longitudes et latitudes (ou les coordonnées de Mercator transverses universelles) de même qu'une échelle graphique. Sur les cartes du Québec, les noms officiels des municipalités doivent être utilisés (p. ex., Québec, Montréal et Clarke City) et les entités géographiques doivent être présentées en français (p. ex., Lac Bienville), à l'exception de celles qui sont d'intérêt pancanadien — ces dernières, qui ont un nom officiel dans les deux langues (p. ex., Atlantic Ocean et océan Atlantique), se doivent de respecter la langue de l'article. Pour obtenir une liste complète des noms des régions d'intérêt pancanadien, consultez Le guide du rédacteur (p. 236–237, 2^e éd., 1996), publié par les Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, Ottawa, ON K1A 0S5, Canada.

Les photographies doivent être en *demi-teintes* sur papier glacé. Les épreuves doivent être de première qualité, sur papier glacé, avec contrastes bien marqués. Les copies destinées à la reprographie doivent être rognées de façon à ne laisser paraître que les éléments essentiels et être montées sur carton bristol blanc léger et flexible. Aucun espace ne doit paraître entre les photographies constituant une même planche. Une photographie ou un groupe de photographies doit être préparé de manière à occuper, **sans réduction supplémentaire**, une ou deux colonnes du texte. Les micrographies électroniques et les photomicrographies doivent comporter une échelle graphique à même l'illustration. On évitera les pertes de détails et de contraste inhérentes au procédé d'imprimerie en agencant le contraste et la densité de toutes les photographies montées sur une même planche.

Les illustrations en couleurs sont aux frais de l'auteur. On peut obtenir de plus amples renseignements sur les prix auprès de Cecily Pearson, rédactrice administrative du Journal (613-993-9099; télécopieur : 613-952-7656; courriel : cecily.pearson@nrc-cnrc.gc.ca).

Les Presses scientifiques du CNRC préfèrent recevoir la version électronique des illustrations des manuscrits acceptés et l'utiliseront dans la mesure du possible. Si les fichiers électroniques ne sont pas disponibles, la version papier des illustrations sera balayée. Toutefois, le lecteur optique reproduit facilement les défauts (p. ex., le liquide correcteur, les maculations). Il est recommandé de ne pas soumettre de photographies tramées, ni des illustrations balayées imprimées au laser, à cause des moirures qui se forment; une moirure est un motif perceptible et non désiré produit par le rebalayage ou le retramage d'une illustration qui contient déjà un motif de points.

Préparation des fichiers électroniques des illustrations

Les auteurs doivent fournir des fichiers électroniques ainsi

que des originaux imprimés de haute qualité. Les fichiers électroniques (c.-à-d., le numéro et le contenu de la figure) doivent correspondre aux originaux imprimés. Sur l'étiquette de la disquette, il faut indiquer (1) l'application et la version du logiciel; et (2) le(s) nom(s), la dimension et le suffixe du fichier. Si les fichiers ont été comprimés, il faut indiquer le format de compression. Les versions PC ou Macintosh des polices True Type ou Type 1 doivent être utilisées. On ne doit pas se servir des polices de caractères en mode points ou non standard. Les graphiques électroniques sont acceptés sur les disquettes suivantes : disquettes 3,5 po, cartouche Zip de 100 Mo et sur CD-ROM.

Le logiciel graphique préféré par les Presses scientifiques du CNRC est CorelDraw! Pour les autres applications possibles, reportez-vous à la « Liste des programmes graphiques électroniques » à http://pubs.nrc-cnrc.gc.ca/cgi-bin/rp/rp2_prog_f?cifas_graphics_f.html.

Toutes les illustrations doivent être soumises dans leur dimension de tirage final. Quant aux figures comportant plusieurs parties (p. ex., a, b, c, d, etc.) créées sur le même logiciel, elles doivent être assemblées dans un seul fichier plutôt que de transmettre plusieurs fichiers.

Il faut garder les illustrations le plus simple possible afin d'éviter les embûches. Éviter les textures et les fonds grisés compliqués, particulièrement dans les programmes d'illustration vectorielle.

Fichier en mode point — Les fichiers d'images en mode point sont produits sur une grille dans laquelle chaque carré (ou pixel) correspond à une nuance de noir, de couleur ou de gris. Un fichier en mode point est défini par le nombre de pixels ou d'éléments par pouce. Comme le pixel est défini comme un point, on parle aussi de « points par pouce » ou « ppp ». Plus la résolution de l'image est grande, plus le nombre de points sur une surface donnée est élevé.

Les illustrations soumises en mode point doivent être de définition adéquate. Les exigences minimales de définition sont les suivantes : 600 ppp pour les dessins au trait et les lignes fines (les dessins au trait comportant des lignes fines ou un fond grisé), 300 ppp pour les demi-teintes et les couleurs et 600 ppp pour les combinaisons (demi-teintes avec l'extrémité de l'espace réservé à la photo).

Tous les fichiers en couleurs soumis doivent suivre la base CMJK (cyan, magenta, jaune et noir). Ces couleurs sont utilisées dans l'impression commerciale tout en couleur. Les graphiques RVB (le rouge, le vert et le bleu sont les couleurs utilisées particulièrement pour produire les images sur un écran) ne s'impriment pas correctement.

Fichiers vectoriels — Les fichiers vectoriels sont des fichiers d'images composées d'éléments comme les lignes et les formes. Ce type de fichier convient habituellement aux dessins au trait.

Fichiers vectoriels en mode point — Le mode points peut être importé dans un logiciel vectoriel ou de dessins aux seules fins d'ajouter et de superposer de l'information, des lignes, du texte, etc. Le mode points ne doit pas être redimensionné, recadré, tourné ou manipulé de toute autre façon après avoir été importé.

Conventions

Abréviations

N'abrégier les termes désignant les unités de poids et mesures dans le texte que lorsqu'ils sont précédés d'un nombre.

becquerel (Bq)
calorie (cal)
centimètre (cm)

centimètre carré (cm²)
centimètre cube (cm³)
centimètres par gramme par seconde (cm·g⁻¹·s⁻¹)
coulomb (C)
décimètre (dm)
degré Celsius (°C)
degrés de liberté (dl)
écart type (ET)
électronvolt (eV)
erreur type (ErT)
farad (F)
gramme (g)
hectare (ha)
hertz (Hz)
heure (h)
joule (J)
kilomètre (km)
litre (L)
lumen (lm)
lux (lx)
mètre (m)
mètre carré (m²)
mètre cube (m³)
micromètre (µm)
milligramme (mg)
millilitre (mL)
millimètre (mm)
millimètre carré (mm²)
minute (min)
masse molaire (M)
mole (mol)
moles par litre (mol/L, M)
pascal (Pa)
seconde (s)
tonne (métrique) (t)
volt (V)
volume (vol)
watt (W)

Dates

On écrira les dates dans l'ordre jour-mois-année, p. ex., 9 octobre 1983, sans virgule entre le mois et l'année.

Citations de références dans le texte

Système de nom et année

Le Journal utilise le système de nom et année, c.-à-d. que le nom de l'auteur ou des auteurs et l'année de publication sont insérés dans le texte à un endroit approprié : « Brown (1983) compare... » ou « ...on a comparé (Brown 1983) ». Si la référence comporte plus de deux auteurs, inscrivez le nom du premier auteur seulement, suivi de « et al. » : « Brown et al. (1983) comparent... » ou « ...on a comparé (Brown et al. 1983) ».

Communications personnelles

Les communications personnelles ne doivent pas être incluses dans la liste des références. Utilisez plutôt des parenthèses dans le texte, entre lesquelles vous indiquerez le nom et l'adresse de la personne en question, suivis de « communication personnelle ».

Données inédites

Si un livre ou un article inédit a été accepté pour publication, insérez-le dans la bibliographie, avec la mention « Sous presse ». On ne peut considérer comme étant sous presse que les manuscrits au stade d'épreuves ou ceux couverts par lettre d'acceptation. Si un article a été soumis mais n'a pas

encore été accepté, ne l'incluez pas dans la liste de références, mais indiquez le nom et l'adresse de l'auteur du matériel inédit, dans le texte lui-même, avec la mention « données inédites ».

Bibliographie

Les références doivent être classées par ordre alphabétique des noms des premiers auteurs. Si la liste comprend plusieurs publications d'un même premier auteur, les règles suivantes seront appliquées. (1) S'il n'y a qu'un auteur, les ouvrages se succèdent par ordre chronologique de partition en commençant par le plus ancien. Si l'auteur a publié, au cours d'une année, plusieurs livres ou articles, on distinguera les références les unes des autres en faisant suivre l'année de publication d'une lettre (*a*, *b*, *c*, etc.). (2) S'il y a deux auteurs, les ouvrages sont placés à la suite de ceux n'ayant qu'un auteur, et sont alors classés par ordre alphabétique du nom du deuxième auteur. (3) S'il y a trois auteurs ou plus, les ouvrages sont placés à la suite de ceux ayant deux auteurs et sont classés par ordre chronologique.

La liste qui suit donne des exemples de ponctuation, de style et d'abréviations utilisés dans les références bibliographiques (d'après CASSI ou BIOSIS® *Serial Sources*).

Article d'une revue

Archambault, D., et Bourget, E. 1983. Importance du régime de dénudation sur la structure et la succession des communautés intertidales de substrat rocheux en milieux subarctiques. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40 : 1278-1292.

Numéro complet d'une revue

Gordon, D.C., Jr., et Hourston, A.S. (*Directeurs de la rédaction*). 1983. Proceedings of the Symposium on the Dynamics of Turbid Coastal Environments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40(suppl. 1).

Livre dans une série

Scott, W.B., et Crossman, E.J. 1974. Poisons d'eau douce du Canada. *Bull. can. sci. halieut. aquat.* n° 184.

Livre ne faisant pas partie d'une série

Forrester, W.D. 1983. Manuel canadien des marées. Service

hydrographique du Canada, ministère des Pêches et des Océans, Ottawa.

Partie d'un livre

Aubert, M., Aubert, J., Daniel, S., et Desirotte, N. 1982. État actuel de la pollution bactérienne au large des côtes françaises. Dans *La pollution des mers et les ressources biologiques. Sous la direction de M. Ruivo*. Fishing News (Books) Ltd., Londres. p. 36-40.

Corporation auteur

American Public Health Association, American Water Works Association et Water Pollution Control Federation. 1975. Standard methods for the examination of water and wastewater. 14^e éd. Washington.

Thèse

Delisle, C. 1969. Écologie, croissance et comportement de l'éperlan du Lac Heney, Comté de Gatineau ainsi que la répartition en eau douce du Québec. Thèse de doctorat, Université d'Ottawa, Ottawa.

Rapport

Dutil, D.J., Fortin, M., et Vigneault, Y. 1982. L'importance des zones littorales pour les ressources halieutiques. Mémoire remis au Conseil consultatif de l'environnement du Québec. *Rapp. manuscrit can. sci. halieut. aquat.* n° 1653.

Traduction

Koike, A., et Ogura, B. 1977. Selectivity of meshes and entrances of shrimp traps and crab traps. *J. Tokyo Univ. Fish.* 64 : 1-11. [Traduit du japonais par Can. Transl. Fish. Aquat. Sci. n° 4950, 1983.]

Liste de mots

Cette section, dans la version anglaise du Guide, contient une série de mots dont l'orthographe pose certains problèmes d'uniformité, comme, p. ex., « cold water » (nom) « cold-water » (adjectif); « hard water » (nom) « hardwater » (adjectif), etc. L'auteur préparant un texte en anglais est prié de consulter la version anglaise du Guide.